



Diogo da Costa Rodrigues

Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

Concepção e Desenvolvimento de um Sistema de Fixação Comum para Maquinação e Inspeção de Punções

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Doutor António José Freire Mourão, Professor Associado, FCT-UNL

Co-orientador: Mestre Pedro Oliveira Martins Marques Martinho, Eng.º Desenvolvimento e Produção, LURGA

Júri:

Presidente: Professor Doutor António Gabriel Marques Duarte dos Santos

Arguente: Professor Doutor Alberto José Antunes Marques Martinho

Vogal: Professor Doutor António José Freire Mourão



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2017

Diogo da Costa Rodrigues

Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

Concepção e Desenvolvimento de um Sistema de
Fixação Comum para Maquinação e Inspeção de
Punções

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Doutor António José Freire Mourão, Professor Associado, FCT-UNL

Co-orientador: Mestre Pedro Oliveira Martins Marques Martinho, Eng.^o Desenvolvimento e Produção, LURGA

Setembro, 2017

Nota: Esta dissertação não foi escrita ao abrigo do novo acordo ortográfico de 1990.

Concepção e Desenvolvimento de um Sistema de Fixação Comum para Maquinação e Inspeção de Punções

Copyright © 2017 Diogo da Costa Rodrigues, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A realização do presente trabalho apenas foi possível com a colaboração de várias pessoas.

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, ao meu orientador, Professor Doutor António Mourão pelo acompanhamento constante ao longo da realização da dissertação. Agradeço a sua disponibilidade em se reunir frequentemente e discutir o progresso do projecto, contribuindo com sugestões, críticas e correcções.

Ao Eng. Pedro Martinho pelo apoio prestado, desde o primeiro dia, em esclarecer todas as minhas dúvidas, pela constante disponibilidade, pela partilha de conhecimentos e pela contribuição na minha formação como engenheiro.

A todos os professores da FCT-UNL que pertenceram ao meu percurso académico pela excelente formação que me proporcionaram.

Às várias pessoas da LURGA que contribuíram para o desenvolvimento do trabalho, nomeadamente ao Eng. André Costa, Eng. Sérgio Prazeres, Eng. Jorge Henriques, Eng. Luís Martins, Eng. Manuel Roriz, Mauro Antunes, Nuno Furtado, Pedro Pereira, Adilson Lider, Sérgio Alves, Vítor Ramos e restantes colaboradores.

Aos meus pais, irmã e avó, muito obrigado por todo o apoio, sugestões e conselhos desde o início da minha formação académica até ao término da presente dissertação.

Gostaria também de agradecer aos meus amigos pela sua preocupação, palavras de incentivo e companheirismo: Samuel Simões, Filipa Monteiro, Carlos Simão, Darline Oliveira, Ricardo Santos, Nathália Araújo, Rui Calado, Nádia Pontes, Vera Cerquido, Nicolai Draganov, João Henriques, Fábio Garrido, Ricardo Frade, Diogo Branquinho, Tiago Carvalho e João Serrano.

Para terminar, gostaria de agradecer à LURGA pela oportunidade que me proporcionou ao receber-me como estagiário e por toda a amabilidade prestada.

Obrigado!

Resumo

O principal objectivo da presente dissertação é a concepção e o desenvolvimento de um sistema de fixação de punções para compressão de pós. Procura-se diminuir os tempos passivos, em particular, os tempos associados a cargas e descargas das máquinas-ferramenta e das máquinas de controlo dimensional e geométrico.

O trabalho realizou-se em ambiente empresarial, usando casos concretos e com soluções cujas propostas foram sendo avaliadas e validadas também na empresa. Foi feita uma análise das operações de fabrico e respectivos tempos activos e passivos, tendo sido constatado que efectivamente os tempos passivos tinham um peso relevante.

Conceptualmente considerou-se uma solução que recorre a uma palete compatível com máquinas-ferramenta e com máquinas de medição por coordenadas (para inspecção), de forma a reduzir os tempos de *setup*, aumentando, por sua vez, a produtividade. A palete é suportada na base das máquinas-ferramenta através de sistemas comerciais de fixação *zero-point*, o que permite reduzir substancialmente o número de *setups* e, conseqüentemente, o tempo de produção.

O projecto da palete foi desenvolvido para fixar dezasseis punções, tendo em consideração a uniformização do processo, a ergonomia do trabalho associado, as tolerâncias dos punções a fabricar e os constrangimentos associados às mesas das máquinas-ferramenta.

Como resultado final estima-se que com o sistema desenvolvido seja possível uma diminuição de 28,6% no tempo de electroerosão por punção.

Palavras-chave: tempo de *setup*, sistema *zero-point*, projecto mecânico, fixação de punções, paletização.

Abstract

The main objective of this dissertation is to design and develop a fixture system for powder compression punches. The aim is to reduce the passive times, in particular the times associated with loading and unloading of tooling machines and machines of dimensional and geometry control.

The work was carried out in a business environment, using specific cases and solutions that were evaluated and validated by the company. An analysis of manufacturing operations and active and passive times was made and was found a relevant weight in the passive times.

Conceptually, it was considered a solution that used a pallet compatible with machine tools and coordinated measuring machines (for inspection), in order to reduce setup times, while increasing productivity. The pallet is supported in the base of the machine tools through commercial systems of zero-point fixtures, which allows it to reduce substantially the number of configurations and, consequently, the time of production.

The design of the pallet was developed to clamp sixteen punches and took in account the standardization of the process, ergonomics of the associated work, the tolerances of punches to be made and the constraints associated with machines tools working areas.

As a final result it's estimated that with the designed system a reduction of 28,6% in the EDM time per punch is possible.

Keywords: Setup time, zero-point system, mechanical design, punches fixture, palletizing.

Índice Geral de Conteúdo

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos	xvii
1 Introdução	1
1.1 Contexto, motivação e objectivo	1
1.2 Empresa Lurga	2
1.3 Estrutura da dissertação	2
2 Enquadramento do Processo de Fabrico dos Punções	5
2.1 Punções para a indústria farmacêutica	5
2.2 Geometria de um punção	6
2.3 Caso de estudo.....	11
2.4 Plano de fabrico de um punção	11
2.5 Sistema de fixação actual	17
3 Sistemas de Fixação em Operações de Maquinação	21
3.1 Objectivos e requisitos	21
3.2 Tipos de ferramentas de fixação	22
3.3 Componentes de um sistema de fixação	23
3.4 Princípios de localização e aperto	24
3.4.1 Princípios básicos de localização	24
3.4.2 Graus de liberdade	26

3.4.3	Superfícies de localização	26
3.4.4	Configurações de localização	27
3.5	Métodos de localização	28
3.5.1	Método 3-2-1	28
3.5.2	Método radial e concêntrico	30
4	Metodologia	33
4.1	Introdução	33
4.2	Funcionamento da fixação <i>zero-point</i>	34
4.3	Vantagens da fixação <i>zero-point</i>	38
4.4	Tipos de sistemas de fixação <i>zero-point</i>	39
4.5	Seleção de sistemas <i>zero-point</i>	40
5	Projecto do Sistema de Fixação	45
5.1	Introdução	45
5.2	Requisitos do projecto	46
5.3	Fases do projecto	51
5.4	Descrição do sistema de fixação	56
5.4.1	Funcionamento	56
5.5	Aspectos ergonómicos e segurança de utilização	60
6	Composição do Sistema de Fixação	63
6.1	Introdução	63
6.2	Palete	64
6.2.1	Grade	64
6.2.1.1	Dimensionamento da grade	64
6.2.1.2	Estimativa das forças exercidas durante a rectificação plana	65
6.2.1.3	Tensão normal máxima e momento flector máximo	67
6.2.1.4	Deslocamento transversal	69
6.2.2	Ferramenta de aperto	69
6.2.2.1	Dimensionamento do parafuso e momento de aperto necessário	72
6.2.3	Pega	73
6.3	Sistema de fixação <i>zero-point</i>	74
6.4	Acessórios	78
6.4.1	Calço	78
6.4.2	Caixa de protecção	79
7	Análises de Tempos	81
7.1	Introdução	81

7.2	Tempos das actividades do caso de estudo na situação <i>As-Is</i>	82
7.3	Tempos das actividades do caso de estudo na situação <i>To-Be</i>	85
7.4	Comparação de tempos	88
8	Ensaaios Realizados	93
8.1	Ensaio de paletização.....	93
9	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	97
	Bibliografia.....	99
	Anexos	103

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Chão de fábrica da Metalúrgica LURGA [3]	2
Figura 1.2 – Fluxograma da estrutura da dissertação	3
Figura 2.1 – Principais geometrias de comprimidos [4].....	5
Figura 2.2 – Ferramentas de compressão de pós [4] (adaptado)	6
Figura 2.3 – Diferentes tipos de punções: tipo B, tipo D, ponteira redonda, ponteira oblonga e múltiplas ponteiras (da esquerda para a direita)	6
Figura 2.4 – Diferentes tipos de matrizes	6
Figura 2.5 – Identificação das secções de um punção	7
Figura 2.6 – Identificação da ponteira de um punção.....	7
Figura 2.7 – Retentor de um punção superior	7
Figura 2.8 – Cotas de inspecção de um punção superior oblongo.....	9
Figura 2.9 –Desenho padrão de um punção superior oblongo [6] (adaptado)	10
Figura 2.10 – Casquilho de apoio da cabeça do punção	17
Figura 2.11 – Bucha de três garras e casquilho para fixar punção durante a rectificação da cabeça.....	17
Figura 2.12 – Base magnética e bloco em V para fixar os punções durante a rectificação plana da ponteira	18
Figura 2.13 – Mó de borracha abrasiva utilizada na remoção de rebarbas resultantes da rectificação de ponteira	18
Figura 2.14 – Grade e parafusos de fixação para fixar os punções durante a electroerosão da ponteira.....	19
Figura 2.15 – Comparador e base rectificada para medir a cota B dos punções e instrumento de impressão	19
Figura 2.16 – Sistema de fixação para polir a concavidade da ponteira dos punções:	20

Figura 3.1 – Classificação de ferramentas de fixação:.....	22
Figura 3.2 – Corpo rígido com seis graus de liberdade e	26
Figura 3.3 – Configurações de localização [9] (adaptado):.....	28
Figura 3.4 – Método 3-2-1: localizadores A, B e C [9] (adaptado).....	29
Figura 3.5 – Método 3-2-1: localizadores A,B, C, D e E [9] (adaptado).....	30
Figura 3.6 – Método 3-2-1: localizadores A, B, C, D, E e F [9] (adaptado)	30
Figura 3.7 – Método de localização 3-2-1 numa peça prismática	30
Figura 3.8 – Base e o pino central restringem o movimento da peça em nove direcções [9] (adaptado)	31
Figura 3.9 – Base, pino central e o localizador radial restringem o movimento da peça em onze direcções [9] (adaptado).....	31
Figura 4.1 – Sistema de fixação <i>zero-point</i> [22] (adaptado).....	33
Figura 4.2 – Descrição da base	34
Figura 4.3 – Perspectiva explodida da base QuickChuck 50 da EROWA [25] (adaptado)	34
Figura 4.4 – Espigão de fixação ITS [24].....	35
Figura 4.5 – Chapa de centragem ITS [26]	35
Figura 4.6 – Procedimento de montagem do espigão de fixação ITS numa peça [27] (adaptado)	35
Figura 4.7 – Base <i>Modular Tooling System</i> (MTS) 2.0 [24].....	36
Figura 4.8 – Pormenor do sistema de aperto pneumático do espigão [24]	37
Figura 4.9 – Base <i>PowerChuck</i> [27]	37
Figura 4.10 – Base <i>Fine Tooling System</i> [27].....	37
Figura 4.11 – Abertura do sistema hidráulico [24]	38
Figura 4.12 – Sistema de aperto convencional vs. sistema de palete [26] (adaptado)	39
Figura 4.13 – Fluxograma 0: identificação do processo de fabrico para escolha do sistema <i>zero-point</i>	41
Figura 4.14 – Fluxograma 1: sistemas de fixação <i>zero-point</i> para maquinaria pesada	42
Figura 4.15 – Fluxograma 2: sistemas de fixação <i>zero-point</i> para produção de peças por electroerosão, maquinaria de ferramentas ou moldes	43
Figura 5.1 – Fluxograma do desenvolvimento do projecto.....	46
Figura 5.2 – Fluxograma do desenvolvimento da solução final.....	53
Figura 5.3 – Fluxograma do dimensionamento dos componentes do sistema de fixação	54
Figura 5.4 – Perspectiva isométrica do sistema de fixação	56
Figura 5.5 – Superfícies de aperto e referência.....	57
Figura 5.6 – Primeira configuração de montagem.....	57

Figura 5.7 – Pormenor A: material removido na rectificação da cabeça do punção	58
Figura 5.8 – Segunda configuração de montagem	58
Figura 5.9 – Pormenor B: material removido na rectificação da ponteira do punção	58
Figura 6.1 – Perspectiva explodida do sistema de fixação projectado.....	63
Figura 6.2 – Grade (anexo D)	64
Figura 6.3 – Forças envolvidas na rectificação plana tangencial	65
Figura 6.4 – Esforços aplicados na grade durante a rectificação [43] (adaptado)...	67
Figura 6.5 – Diagrama de esforço transversal e momento flector	68
Figura 6.6 – Secção transversal rectangular [44]	69
Figura 6.7 – Secção transversal rectangular	70
Figura 6.8 – Posições da ferramenta de aperto:.....	71
Figura 6.9 – Pormenor do contacto entre o calço de aperto e o punção (não se encontra à escala)	71
Figura 6.10 – Forças envolvidas no aperto do punção	72
Figura 6.11 – Pega da elesa+GANTER (L.652/55 B-M8-C9).....	73
Figura 6.12 – Escolha do sistema <i>zero-point</i> para o caso de estudo, utilizando o fluxograma 0	74
Figura 6.13 – Escolha do sistema <i>zero-point</i> para o caso de estudo, utilizando o fluxograma 2	75
Figura 6.14 – Base QuickChuck 50 da EROWA com aperto manual.....	76
Figura 6.15 – Base ITS 50 [24].....	77
Figura 6.16 – Força de aperto manual [23] (adaptado)	77
Figura 6.17 – Calço (anexo D):	79
Figura 6.18 – Caixa de protecção (anexo D).....	79
Figura 7.1 – Comparação dos tempos de <i>setup</i> /punção e maquinação/punção nas situações <i>As-Is</i> e <i>To-Be</i> do caso de estudo	90
Figura 7.2 – Identificação das operações de sobreprodução (azul) e estrangulamento (verde)	91
Figura 8.1 – Montagem das paletes na electroerosão.....	93
Figura 8.2 – Centragem do eléctrodo	94
Figura 8.3 – Centragem dos punções	94

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Secções de um punção de compressão de pós e respectivas funções	8
Tabela 2.2 – Dimensões de punções do tipo B e D, segundo as normas EU e TSM .	9
Tabela 2.3 – Sequência de operações de fabrico de um punção	11
Tabela 2.4 – Plano de fabrico actual de um punção do tipo B (caso de estudo).....	16
Tabela 5.1 – Requisitos do projecto: análise do peça	47
Tabela 5.2 – Requisitos do projecto: análise de operações e máquinas-ferramenta	48
Tabela 5.3 – Requisitos do projecto: análise do operador	50
Tabela 5.4 – Conjunto de propostas a considerar como hipóteses para o sistema de fixação	55
Tabela 5.5 – Plano de fabrico proposto para um lote de punções do caso de estudo.	60
Tabela 6.1 – Tempo de vida estimado das bases ITS 50.....	78
Tabela 7.1 – Tempo das actividades da rectificação da cabeça de um punção	82
Tabela 7.2 – Tempo das actividades da rectificação da ponteira de 8 punções	82
Tabela 7.3 – Tempo das actividades da remoção das rebarbas	83
Tabela 7.4 – Tempo das actividades da electroerosão de 14 punções.....	83
Tabela 7.5 – Tempo das actividades da inspecção	84
Tabela 7.6 – Tempo das actividades do polimento de 5 punções	84
Tabela 7.7 – Tempo das actividades da rectificação da cabeça de 16 punções	85
Tabela 7.8 – Tempo das actividades da rectificação da ponteira de 16 punções	85
Tabela 7.9 – Tempo das actividades de remoção das rebarbas de 16 punções	86
Tabela 7.10 – Tempo das actividades de centragem de um eléctrodo	86
Tabela 7.11 – Tempo das actividades de centragem de 16 punções	87
Tabela 7.12 – Tempo das actividades de electroerosão de 16 punções	87
Tabela 7.13 – Tempo das actividades da inspecção de 16 punções.....	88
Tabela 7.14 – Tempo das actividades de polimento de 16 punções	88

Tabela 7.15 – Tempos de setup e valor acrescentado por punção do caso de estudo <i>As-Is</i>	89
Tabela 7.16 – Tempos de setup e valor acrescentado por punção do caso de estudo <i>To-Be</i>	89
Tabela 7.17 – Comparação dos tempos de setup e valor acrescentado nas situações <i>As-Is</i> e <i>To-Be</i>	89
Tabela 7.18 – Comparação do tempo de produção da cavidade da ponteira dos punções (centragem + EDM) nas situações <i>As-Is</i> e <i>To-Be</i>	91
Tabela 8.1 – Registo das medições da profundidade da cavidade da ponteira e cota B após ensaio de electroerosão	95

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

b	Largura da grade
c	Coefficiente relativo a parafusos e porcas
d	Diâmetro do parafuso
D	Diâmetro da mó
E	Módulo de <i>Young</i> ou módulo de elasticidade
f	Folga
F_c	Força de corte da rectificação
F_n	Força normal da rectificação
F_t	Força tangencial da rectificação
FS	Factor de segurança
h	Altura da grade
I_x	Momento de inércia
L	Comprimento
n	Rotação
N	Força normal
N_C	Potência necessária ao corte

$N_{rect.}$	Potência da rectificadora
r	Raio
T	Momento de aperto
$v_{mó}$	Velocidade tangencial da mó de rectificação
W	Módulo de resistência à flexão
$y_{máx}$	Deslocamento transversal máximo
η	Rendimento
μ	Coefficiente de atrito
σ_{adm}	Tensão admissível
σ_{ced}	Tensão de cedência
<i>EDM</i>	<i>Electric Discharge Machining</i>
<i>CMM</i>	<i>Coordinate Measuring Machine</i>

1

Introdução

1.1 Contexto, motivação e objectivo

Verifica-se que as medidas tomadas para reduzir os tempos em que as máquinas-ferramentas não estão a produzir são significativamente mais importantes do que procurar reduzir os tempos de maquinação, o que provoca um maior desgaste das ferramentas devido às altas temperaturas atingidas, com o aumento da velocidade de corte. Uma das soluções passa pela redução dos tempos de localização e de aperto das peças a maquinar, para a qual o desenvolvimento de um sistema de fixação e localização estável e preciso é uma hipótese de trabalho [1].

Esta solução permite focar mais na fixação, em vez de na maquinação em si, de modo a reduzir os tempos das operações sem valor acrescentado na produção de peças.

Ao equipar as máquinas-ferramenta e máquinas de inspecção com o mesmo sistema de referência, resulta que as peças possam ser movimentadas entre máquinas sem pôr em causa o aperto e alinhamento das mesmas.

Em articulação com a empresa LURGA surgiu o tema da presente dissertação, ao identificar-se uma oportunidade de melhoria na maquinação e na inspecção de punções, designadamente a vontade na redução dos tempos de *setup*.

O tempo de *setup* é o período decorrido na preparação das operações de maquinação ou de inspecção, de modo a que o equipamento ou operador esteja pronto a executar uma tarefa.

O principal objectivo da presente dissertação é a concepção e o desenvolvimento de um sistema de fixação para punções utilizados na compressão de pós. O sistema de fixação em formato de palete tem que ser compatível com máquinas-ferramentas

e com máquinas de medição por coordenadas (para inspecção), de forma a reduzir os tempos de *setup*, aumentando, por sua vez, a produtividade e, conseqüentemente, reduzindo o custo total.

1.2 Empresa Lurga

A Metalúrgica Lurga, Lda. (LURGA), é uma empresa sediada em Portugal que se dedica ao desenvolvimento, concepção, fabrico, comercialização e assistência pós-venda de máquinas e ferramentas destinadas, essencialmente, à produção da indústria farmacêutica e alimentar [2].

Destaca-se como produtor de ferramentas de precisão para compressão de pós, nomeadamente punções e matrizes. Na figura 1.1 apresentam-se as instalações da fábrica.



Figura 1.1 – Chão de fábrica da Metalúrgica LURGA [3]

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação, cujo desenvolvimento se encontra representado no fluxograma da figura 1.2, encontra-se dividida em nove partes, cujo conteúdo de cada capítulo se encontra indicado em baixo:

- Capítulo 1 - Apresentação da origem do tema, explicação da motivação que levou à sua escolha e definição dos objectivos.
- Capítulo 2 - Enquadramento do caso de estudo;
- Capítulo 3 - Apresentação dos diversos tipos de fixação existentes no mercado e métodos de localização e aperto;
- Capítulo 4 - Metodologia de escolha de sistema de fixação *zero-point*;

- Capítulo 5 - Requisitos e desenvolvimento de todo o projecto do sistema de fixação (fases do projecto, descrição, aspectos ergonómicos e segurança de utilização);
- Capítulo 6 - Composição e dimensionamento do sistema de fixação projectado;
- Capítulo 7 - Análise de tempos;
- Capítulo 8 - Ensaios realizados com protótipos do sistema de fixação;
- Capítulo 9 - Conclusões e análise dos resultados obtidos do desenvolvimento do sistema de fixação, bem como propostas de trabalho para futuro.

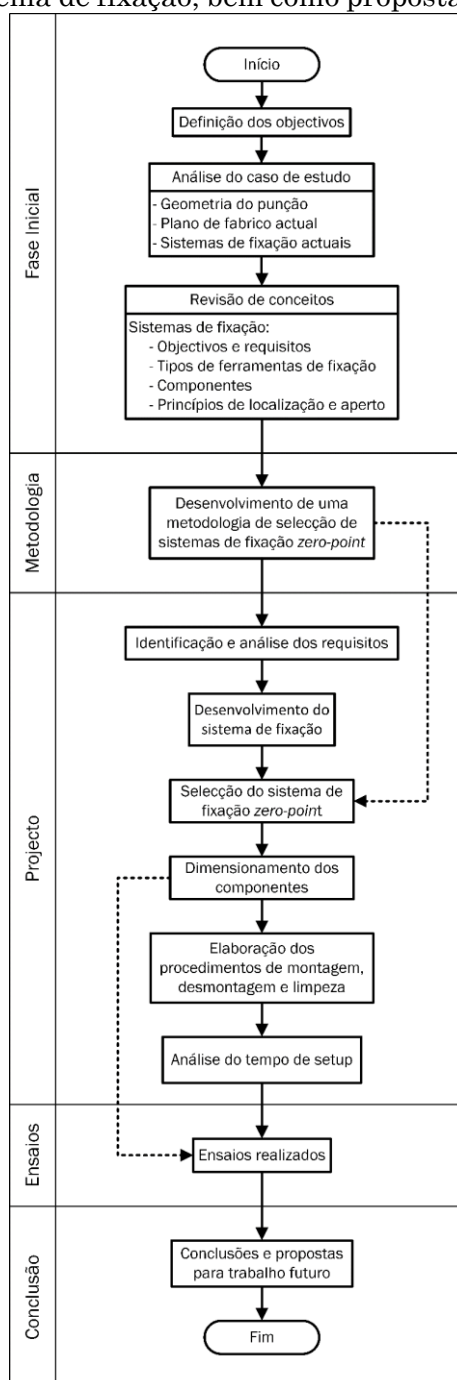


Figura 1.2 – Fluxograma da estrutura da dissertação

2

Enquadramento do Processo de Fabrico dos Punções

2.1 Punções para a indústria farmacêutica

Os punções para a indústria farmacêutica são ferramentas para compressão de pós, cujo objectivo é produzir comprimidos.

Actualmente produzem-se comprimidos de diferentes geometrias, consoante as especificações dos laboratórios farmacêuticos, pelo que são necessários punções específicos para produzir cada tipo de comprimido. Na figura 2.1 encontram-se as principais geometrias de comprimidos.

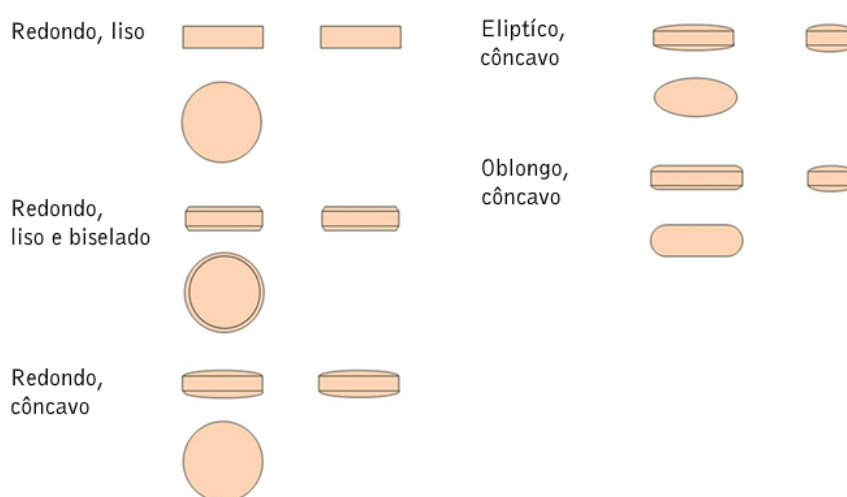


Figura 2.1 – Principais geometrias de comprimidos [4]

Cada comprimido é fabricado pela compactação de pós dentro de uma matriz, na qual actuam dois punções (punção superior e punção inferior) que aplicam forças de compressão, como se apresenta na figura 2.2.

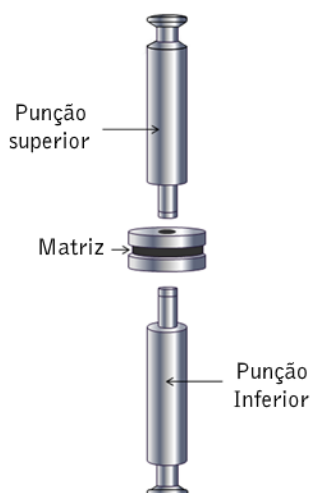


Figura 2.2 – Ferramentas de compressão de pós [4] (adaptado)

Conforme o tipo de comprimido a produzir, os respectivos punções têm uma ou múltiplas ponteiros com a geometria do comprimido. As ponteiros podem ser lisas, côncavas, biseladas e com ou sem gravação, caso os laboratórios assim o pretendam.



Figura 2.3 – Diferentes tipos de punções: tipo B, tipo D, ponteira redonda, ponteira oblonga e múltiplas ponteiros (da esquerda para a direita)



Figura 2.4 – Diferentes tipos de matrizes

2.2 Geometria de um punção

Um punção de compressão de pós é composto por diversas secções, cada uma responsável por realizar uma determinada função. Na figura 2.5 e figura 2.6 identificam-se as secções, enquanto na tabela 2.1 se sintetizam as secções e respectivas funções de cada uma. O retentor apresentado na figura 2.7 evita que escorra óleo de

qualidade alimentar da máquina de compressão de comprimidos para dentro da matriz e contamine o comprimido.

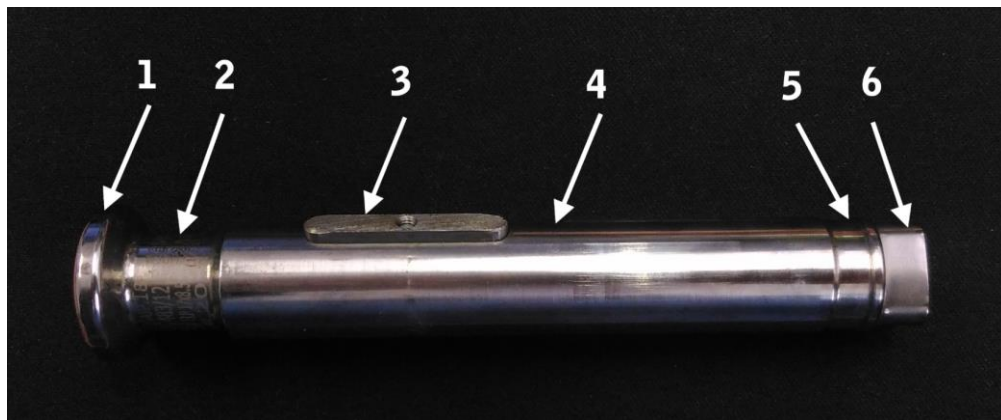


Figura 2.5 – Identificação das secções de um punção



Figura 2.6 – Identificação da ponteira de um punção



Figura 2.7 – Retedor de um punção superior

Tabela 2.1 – Secções de um punção de compressão de pós e respectivas funções

#	Secção	Função
1	Cabeça	Zona de aplicação da força
2	Pescoço	Zona de apoio na came da máquina de compressão e local da inscrição dos dados do punção (nome da empresa, data de fabrico, nº da obra, nº do punção pertencente a um jogo, superior ou inferior, número de série, material, revestimento e tipo de punção (B, D, outro))
3	Escatel e cavalete	Garante o alinhamento do punção superior com o punção inferior, por exemplo: garantir a mesma orientação da linha de quebra na parte superior e inferior do comprimido durante a compressão do comprimido
4	Corpo	Confere rigidez ao punção
5	Gola do retentor	Posiciona o retentor (específico dos punções superiores apenas)
6	Ponteira	Define a geometria do comprimido (redondo, oblongo, elíptico, quadrado, etc)
7	Côncavo	Confere a concavidade ao comprimido
8	Gume	Aresta que delimita o côncavo

Os punções para fabricação de comprimidos encontram-se normalizados, de forma a garantir a intermutabilidade entre punções nas máquinas de compressão de pós de diversos fabricantes. Existem normas que especificam as dimensões principais, tolerâncias e geometria dos punções e matrizes para os vários tipos de comprimidos.

Actualmente existem duas normas reconhecidas internacionalmente, uma, a norma americana, também conhecida por norma TSM (*Tablet Specification Manual*) [5], outra a, norma europeia, também conhecida por EU (*Eurostandard*) [5]. Existe também a norma internacional ISO 18084:2005(E) - “Press tools for tablets – Punches and dies” [6], que tem como objectivo padronizar as normas TSM e EU. Os punções de ambas as normas (americana e europeia) têm formatos semelhantes, diferindo no perfil e no ângulo da cabeça, no comprimento total do punção e na folga com o furo da matriz [7].

Com base nas normas EU e TSM, os punções podem ser do tipo B ou tipo D, cujas dimensões se encontram na tabela 2.2.

Existem também variantes destes tipos de punções, que não são normalizados, como os BB, DB e ainda os punções característicos de determinados fabricantes de máquinas de compressão de comprimidos.

Tabela 2.2 – Dimensões de punções do tipo B e D, segundo as normas EU e TSM

	Tipo de punção	Diâmetro do corpo (mm)	Diâmetro do pescoço (mm)	Diâmetro da cabeça (mm)	Diâmetro do topo da cabeça (mm)	Comprimento total (mm)
EU	B	19	15,8	25,27	9,6	133,6
	D	25,35	22	31,60	16	133,6
TSM	B	19,05 (3/4")	15,88	25,40	9,33	133,35
	D	25,4 (1")	22,22	31,75	19,05	133,35

As dimensões principais de um punção são aquelas que o caracterizam e permitem montá-lo na respectiva máquina de compressão de comprimidos, como tal requerem uma inspeção rigorosa devido às tolerâncias apertadas.

Na figura 2.8 apresentam-se as seguintes cotas de inspeção de um punção superior oblongo:

- Cota A – Comprimento total (tolerância de 0,03 mm);
- Cota B – Comprimento de trabalho (tolerância de 0,01 mm);
- Cota C – Largura da ponteira (depende da geometria);
- Cota D – Diâmetro do corpo (tolerância de 0,008 mm);
- Cota E – Comprimento da ponteira (depende da geometria);

No caso de se tratar de um punção com ponteira redonda, as cotas C e E têm o mesmo valor e correspondem ao diâmetro da ponteira.

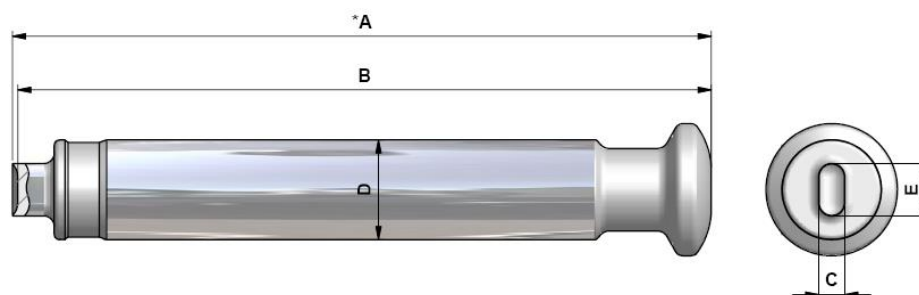
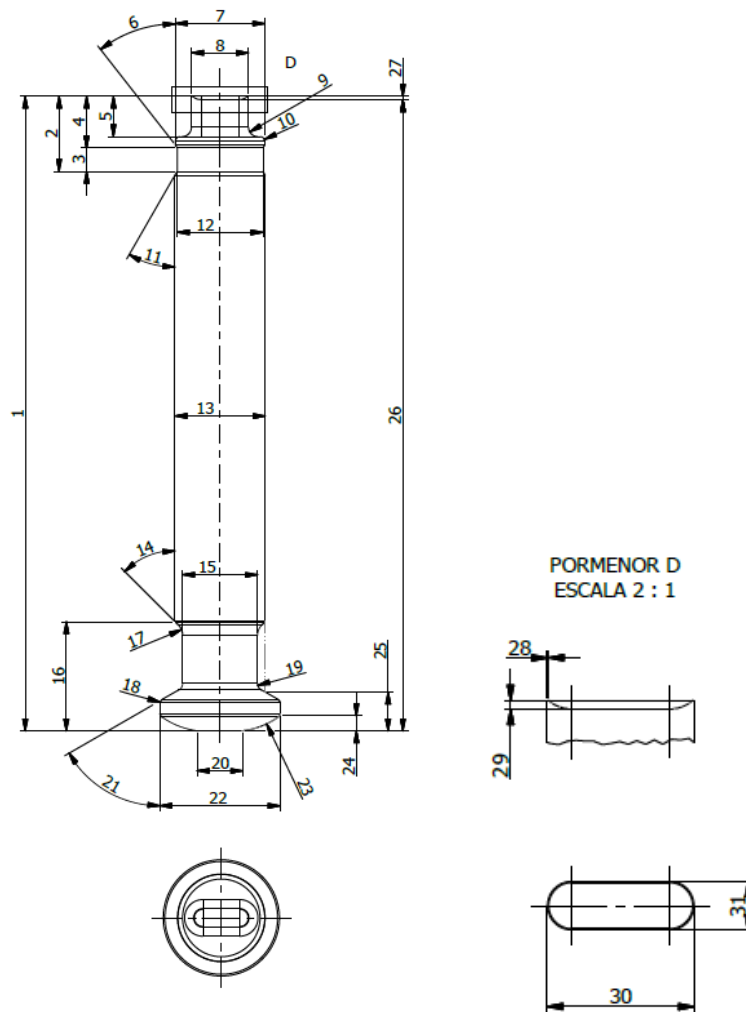


Figura 2.8 – Cotas de inspeção de um punção superior oblongo

Na figura 2.9 apresenta-se um desenho padrão de um punção superior, segundo a norma ISO 18084:2005(E) - "Press tools for tablets - Punches and dies" [6], com a identificação das respectivas cotas, seguida da legenda (terminologia).



Legenda das cotas:

- | | |
|---|--|
| 1. Comprimento total (cota A) | 17. Boleado entre o corpo e o pescoço |
| 2. Comprimento do chanfro do corpo até à ponteira do punção | 18. Boleado da cabeça |
| 3. Gola | 19. Boleado entre o pescoço e a cabeça |
| 4. Comprimento desde a gola até à base do punção | 20. Diâmetro da base da cabeça |
| 5. Comprimento da ponteira | 21. Ângulo interior da cabeça |
| 6. Chanfro entre a gola e batente do retentor | 22. Diâmetro da cabeça |
| 7. Diâmetro do batente do retentor | 23. Raio exterior da cabeça |
| 8. Diâmetro da ponteira | 24. Altura da base da cabeça ao primeiro raio |
| 9. Boleado da ponteira | 25. Comprimento da cabeça |
| 10. Boleado do batente do retentor | 26. Comprimento de trabalho (cota B) |
| 11. Chanfro de introdução (entre a gola e o corpo) | 27. Profundidade da cavidade da ponteira |
| 12. Diâmetro da gola | 28. Espessura do gume |
| 13. Diâmetro do corpo | 29. Profundidade do côncavo |
| 14. Ângulo entre o corpo e o pescoço | 30. Largura da ponteira (diâmetro no caso de ponteiras redondas) |
| 15. Diâmetro do pescoço | 31. Largura da ponteira (diâmetro no caso de ponteiras redondas) |
| 16. Comprimento da cabeça até ao corpo | |

Figura 2.9 –Desenho padrão de um punção superior oblongo [6] (adaptado)

2.3 Caso de estudo

Em colaboração com a Metalúrgica LURGA foi disponibilizado um caso de estudo, de modo a aplicar a metodologia criada através de fluxogramas para escolha de um sistema *zero-point* e desenvolver um sistema de fixação com formato de palete.

O sistema de fixação do caso de estudo tem a função de localizar e apertar punções do tipo B, segundo a norma Europeia EU. No anexo A encontram-se os desenhos de punções superiores e inferiores oblongos côncavos com linha de quebra utilizados como peça de trabalho para todo o desenvolvimento do sistema de fixação.

Desenvolveu-se um sistema de fixação para diminuir os tempos de *setup* e padronizar o processo de fabrico dos punções do tipo B nas seguintes operações: rectificação plana da cabeça, rectificação plana da ponteira, remoção de rebarba, electroerosão, inspecção e polimento.


2.4 Plano de fabrico de um punção

O plano de fabrico é um documento cujo objectivo é servir de guia para fabrico de uma determinada peça. Estabelece os processos a executar, a sua sequência e os respectivos parâmetros operacionais, assim como as máquinas-ferramenta e as ferramentas onde as operações vão ter lugar, de forma a obter a peça final de acordo com as especificações do desenho.

O sistema de fixação desenvolvido concentra-se nas operações de rectificação plana, remoção de rebarba, electroerosão, inspecção e polimento, uma vez que utilizam a mesma superfície de aperto (corpo do punção) - *setups* semelhantes.

Na tabela 2.3 encontra-se uma lista com a sequência de operações de fabrico e inspecção de um punção, na qual o caso de estudo se encontra enquadrado a azul.

Tabela 2.3 – Sequência de operações de fabrico de um punção

#	Figura	Descrição
1		Corte da matéria-prima em varão (bruto)



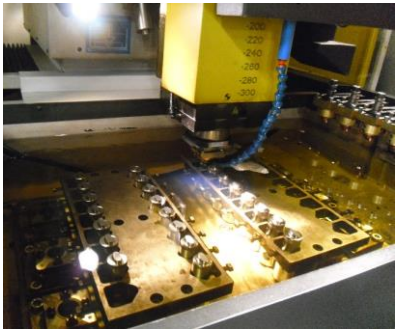

(continua)

Tabela 2.3 – Sequência de operações de fabrico de um punção (continuação)

2		Torneamento do perfil/corpo e cabeça
3		Tratamento térmico (têmpera)
4		Rectificação cilíndrica do corpo
5		Rectificação cilíndrica da ponteira
6		Corte do ponto
7		Rectificação plana da cabeça

(continua)

Tabela 2.3 – Sequência de operações de fabrico de um punção (continuação)

8		Rectificação plana da ponteira
9		Remoção de rebarba
10		Electroerosão da ponteira
11		Medição da cota B e profundidade da ponteira




(continua)

Tabela 2.3 – Sequência de operações de fabrico de um punção (continuação)

12		Polimento manual da ponteira
13		Rectificação plana da cabeça (alturas finais)
14		Tratamento térmico (revenido)
15		Polimento final em máquina com casca de noz

(continua)

Tabela 2.3 – Sequência de operações de fabrico de um punção (continuação)

16		Desmagnetização e gravação a laser das informações do punção
17		Controlo dimensional, visual e produção da documentação final
18		Limpeza dos punções com desengordurante e banho em óleo

Na tabela 2.4 encontra-se o plano de processo actual de um punção do caso de estudo, que corresponde às operações 7 a 12 da tabela 2.3. Um *setup* corresponde a apertar e desapertar os punções num determinado sistema de fixação.

Tabela 2.4 – Plano de fabrico actual de um punção do tipo B (caso de estudo)

		Referência: punc_sup_final	Designação: Punção Oblongo Superior – Tipo B	Data: Fev 2017	
		Material: Aço BÖHLER K890 (L100) – Ø26x141 mm	Dimensões Gerais: Ø25,27x133,6 mm		
	#	Máquina	T. Setup [s]	Instruções	Ferramentas e Parâmetros
Setup 1	01	Manual	–	Apoiar a cabeça do punção no casquilho	Manual
	02	Rectificadora	–	Apertar o casquilho na bucha da rectificadora. Rectificar a cabeça do punção	Mó abrasiva grossa
Setup 2	03	Rectificadora	–	Apoiar o punção no ponto e apertar o corpo na bucha. Rectificar a ponteira	Mó abrasiva grossa
Setup 3	04	Esmeril	–	Retirar a rebarba da ponteira	Mó de borracha abrasiva
Setup 4	05	Bancada	–	Apoiar os punções pelas ponteiras numa base rectificada e apertá-los na palete	Manual
Setup 5	06	Máquina de electroerosão	–	Colocar a palete na máquina, desapertar os pernos e apoiar os punções pela cabeça na base rectificada	Manual
Setup 6	07	Máquina de electroerosão	–	Alinhar a ponteira dos punções e aperta-los	Anilha de “distorção” e comparador
	08	Máquina de electroerosão	–	Determinar o centro de cada punção	Apalpador (sonda com ponta esférica)
	09	Máquina de electroerosão	–	Determinar o centro de cada eléctrodo em relação ao punção de referência	Eléctrodos
	10	Máquina de electroerosão	–	Erodir a ponteira dos punções	Eléctrodos
Setup 7	11	Comparador	–	Calibrar o comparador. Medir a cota B de cada punção	Comparador

(continua)

Tabela 2.4 – Plano de fabrico actual de um punção do tipo B (caso de estudo) [continuação]

Setup 8	12	Ferramenta de polir	–	Colocar os punções no sistema de fixação e accionar o actuador pneumático	Manual
	13	Ferramenta de polir	–	Polir a ponta de cada punção	<i>Diprofil</i> (ferramenta rotativa)

No anexo B encontra-se o fluxograma do processo de fabrico do caso de estudo na situação actual.

2.5 Sistema de fixação actual

No caso de estudo, que se inicia na operação de rectificação plana da cabeça dos punções e termina no polimento do côncavo, utilizam-se no total seis sistemas de fixação: bucha de três garras, base magnética, fixação manual, grade, base rectificada, bloco em V.

Rectificação plana da cabeça

Na rectificação plana da cabeça do punção, a parte inferior da cabeça é apoiada num casquilho de aço (figura 2.10) que é apertado numa bucha de três garras com aperto manual, que se encontra fixa à mesa da rectificadora (figura 2.11). Processa-se um punção de cada vez.



Figura 2.10 – Casquilho de apoio da cabeça do punção



Figura 2.11 – Bucha de três garras e casquilho para fixar punção durante a rectificação da cabeça

Rectificação plana da ponteira

Na rectificação plana da ponteira do punção, a cabeça do punção previamente rectificadas é apoiada numa mesa magnética, e o corpo do punção é fixo contra um bloco em V por meio de um batente aparafusado (ver figura 2.12). São rectificadas 8 por punções por lote.



Figura 2.12 – Base magnética e bloco em V para fixar os punções durante a rectificação plana da ponteira

Remoção de rebarbas

Na remoção de rebarbas resultantes da operação prévia (rectificação plana da ponteira), o punção é segurado manualmente contra a mó de borracha abrasiva (figura 2.13). Processa-se um punção de cada vez.



Figura 2.13 – Mó de borracha abrasiva utilizada na remoção de rebarbas resultantes da rectificação de ponteira

Electroerosão por penetração

Na electroerosão por penetração para obter a concavidade da ponteira dos punções, estes são apertados numa grade por meio de parafusos de fixação contra uma superfície em boca de lobo, como apresenta a figura 2.14. Cada grade aperta 14 punções do tipo B.

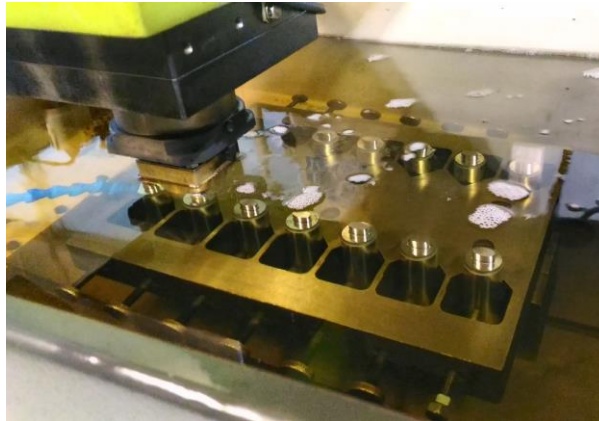


Figura 2.14 – Grade e parafusos de fixação para fixar os punções durante a electroerosão da ponteira

Medição da cota B

A medição da cota de comprimento de trabalho, ou seja, a cota definida entre o topo da cabeça e o interior da concavidade, chamada cota B, é realizada com uma base rectificada, para apoiar a cabeça do punção, e um comparador. Utiliza-se também um instrumento de impressão para registar o valor da cota medida (figura 2.15). A medição é realizada um a um (individual).



Figura 2.15 – Comparador e base rectificada para medir a cota B dos punções e instrumento de impressão

Polimento

No polimento da concavidade da ponteira dos punções, o corpo dos punções são apertados contra um bloco em V, recorrendo a um actuador pneumático (figura 2.16). São polidos 7 punções por lote.



a)



b)

Figura 2.16 – Sistema de fixação para polir a concavidade da ponteira dos punções:

a) bloco em V

b) actuador pneumático

3

Sistemas de Fixação em Operações de Maquinação

3.1 Objectivos e requisitos

Na fase de produção, a função principal de um sistema de fixação é assegurar o posicionamento da peça e a sua imobilização durante as operações de fabrico e inspecção.

A fixação deve ser robusta e resistente o suficiente, de forma a manter a sua precisão após varias utilizações, contudo sem marcar ou danificar a peça de trabalho, fácil de reparar caso seja danificada (de fácil manutenção), segura para o operador e ergonómica [8].

O ideal na fabricação é ter um sistema de fixação que fixe a peça uma única vez e não a retire até estar completamente maquinada. Isto reduz manuseamentos dispendiosos da peça e minimiza a ocorrência de erros, que ocorrem quando se troca a peça entre fixações. Nas situações em que a peça tem de ser retirada da fixação, deve-se procurar trocar de fixação o mínimo número de vezes. Quando se usa mais do que uma máquina-ferramenta, o ideal é movimentar a peça em conjunto com o sistema de fixação de uma máquina-ferramenta para a outra [9].

Quando se trata de peças de relativamente pequenas dimensões, podem-se agrupar, utilizando um sistema de fixação para produzir múltiplas peças – palete – e ainda reduzir o tempo e manuseamento.

Um sistema de fixação, para além de ficar a peça, tem como objectivo:

- Reduzir o custo de produção;
- Aumentar a produtividade;

- Assegurar a precisão da peça;
- Garantir a repetibilidade do trabalho;

Os principais requisitos de um sistema de fixação são [10]:

- Apoiar a peça numa determinada posição;
- Manter o posicionamento isostático da peça durante a maquinação;
- Adaptar-se à máquina-ferramenta seleccionada e às ferramentas utilizadas;
- Garantir a precisão de posicionamento ao longo do tempo;
- Ser simples e de fácil utilização;
- Evitar riscos para o operador e respeitar as regras básicas da ergonomia.

3.2 Tipos de ferramentas de fixação

Por norma, as ferramentas de fixação identificam-se pela máquina-ferramenta em que são utilizadas, por exemplo, ferramentas de fixação para fresadoras, tornos, rectificadoras, entre outras. Contudo, é possível classificar as ferramentas de fixação, de acordo com a sua versatilidade em três categorias: permanentes, modulares e universais [11 e 12], como se representa na figura 3.1.

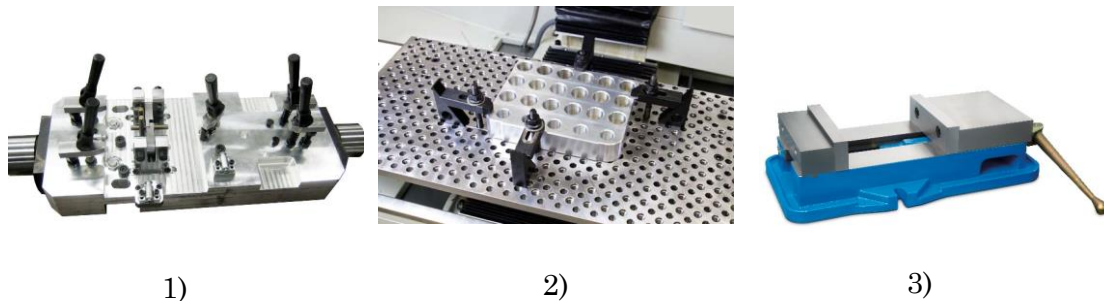


Figura 3.1 – Classificação de ferramentas de fixação:

- 1) permanente [13]
- 2) modular [14]
- 3) universal [15]

Outra forma de classificar as ferramentas de fixação é com base na estratégia de produção a ser utilizada, podendo ser classificadas em *standard* comerciais, específicas e *standard* de fábrica [16].

As ferramentas de fixação *standard* comerciais abrangem prensas de aperto, buchas, bases rectificadas, blocos em V, grampos de aperto, etc. Recorrendo a estas ferramentas simples, é possível montar um sistema de fixação para a maioria das peças. Estas ferramentas são habitualmente utilizadas em produções de baixo

volume ou em oficinas de manutenção, por dependerem em grande parte da mão-de-obra do operador para alinhar e fixar a peça.

As ferramentas de fixação específicas (dedicadas para funções especiais) são projectadas e fabricadas particularmente para localizar uma peça específica para uma determinada operação. Não são versáteis e geralmente não podem ser utilizadas com outras peças ou noutras operações. São ferramentas indicadas para produções em grande escala, onde é necessário garantir a repetibilidade com grande precisão.

As ferramentas de fixação *standard* de fábrica são projectadas para acomodar uma vasta gama de peças de uma determinada família, em vez de uma peça individual – usando uma abordagem designada por Tecnologia de Grupo [16]. Deste modo, o número total de fixações é reduzido juntamente com o tempo despendido para trocar peças pertencentes à mesma família de peças.

3.3 Componentes de um sistema de fixação

Um sistema de fixação é composto pela estrutura, componentes de localização e ferramentas de aperto [17].

Estrutura

A estrutura é o chassi que suporta os diversos componentes do sistema de fixação. Pode ser um corpo inteiriço em construção soldada, maquinado ou obtido por ligações aparafusadas ou outras. A estrutura deve ser rígida para assegurar um bom funcionamento e leve para facilitar o seu manuseamento.

Componentes de localização ou localizadores

Os localizadores, regra geral, são componentes fixos do sistema de fixação, cujo objectivo é posicionar a peça. Dependendo da geometria da peça, os componentes de localização podem ser internos ou externos.

Ferramentas de aperto

As ferramentas de apertos são componentes móveis do sistema de fixação, cujo objectivo é aplicar uma força de aperto, de modo a que a peça se mantenha imobilizada. As ferramentas de aperto podem ser baseadas em fusos ou serem pneumáticas ou hidráulicas.

O objectivo de uma ferramenta de aperto é segurar firmemente a peça contra os componentes de localização. Deve existir uma sequência de aperto, de forma que as superfícies de localização estejam em contacto com todos os localizadores, quando as ferramentas de aperto estiverem a exercer força na peça de trabalho.

3.4 Princípios de localização e aperto

O objectivo principal de um sistema de fixação é fixar uma peça de trabalho e localizá-la de forma precisa e expedita, de modo a contribuir para que todas as peças produzidas com o mesmo sistema de fixação estejam dentro das tolerâncias especificadas [18]. A localização é o processo de posicionar quer a peça de trabalho em relação ao sistema de fixação quer o sistema de fixação em relação à ferramenta de corte ou inspecção [20].

Neste sentido, é necessário ter em consideração alguns princípios de localização, sendo que um dos principais no projecto de um sistema de fixação é que a sua estrutura seja suficientemente rígida e estável, de forma a minimizar o movimento, distorção ou vibração na peça de trabalho devido às forças de maquinação [19].

3.4.1 Princípios básicos de localização

Ainda mais importante do que localizar uma peça na sua posição correcta, é necessário garantir a repetibilidade do processo de fabrico no que à posição do objecto em fabrico diz respeito.

Esta repetibilidade é a capacidade do sistema de fixação permitir fabricar consistentemente peças dentro das tolerâncias especificadas. Relaciona-se com a capacidade de referenciação do sistema de fixação, dado que a localização entre a peça de trabalho, o sistema de fixação e a ferramenta de corte deve ser consistente.

A repetibilidade permite um operador reproduzir consistentemente a mesma medição da mesma geometria, usando o mesmo dispositivo de medição, sob as mesmas condições. A repetibilidade está associada a um desvio de repetição. Ao diminuir o desvio de repetição, diminui-se a variação entre peças, o que resulta num aumento da precisão do processo.

Em termos quantitativos e para efeitos da selecção ou caracterização de um dispositivo de medição, quanto menor for o valor da repetibilidade (desvio) melhor, ou seja, o que se pretende é que o valor do desvio padrão dos resultados das medições de um mesmo valor da grandeza medida seja o mais pequeno possível.

As superfícies maquinadas são mais precisas do que as superfícies em bruto, portanto são as mais adequadas para localizar uma peça [21].

De seguida apresentam-se um conjunto de princípios relacionados com a localização e aperto [17, 19, 21 e 22]:

- A rapidez da operação e a redução de fadiga do operador são cruciais na selecção de um mecanismo de aperto;

- O procedimento de aperto deve ser o mais simples possível;
- É essencial que as superfícies de localização não tenham limalhas ou outras sujidades, uma vez que põem em risco a segurança e a precisão da localização;
- Possibilitar a fácil remoção de limalhas;
- Os sistemas de fixação devem ter como base componentes normalizados;
- Escolher cuidadosamente as superfícies de localização, tendo atenção aos *datum* (referências). Quando não forem especificadas superfícies de localização no desenho, deve-se localizar a partir de superfícies utilizadas na cotelagem da peça;
- Sempre que possível, a localização deve ser feita a partir de superfícies maquinadas
- Usar a mesma superfície de localização para o maior número de operações de maquinação;
- Proporcionar uma visão clara das superfícies de localização para inspeção das mesmas;
- Os pontos de suporte devem estar o mais afastados possível, de forma a proporcionar a máxima estabilidade e a redução das forças envolvidas;
- Os pontos de suporte devem ser o mais pequenos possível sem permitir que as ferramentas de aperto danifiquem a peça de trabalho;
- Os suportes devem estar posicionados simetricamente em relação ao centro de massa da peça;
- Os suportes e os localizadores devem ser de fácil substituição;
- Evitar localização redundante, ou seja, localizadores em duplicado para a mesma superfície de referência;
- Os localizadores devem permitir tanto uma montagem como uma desmontagem fácil e rápida da peça de trabalho;
- Utilizar tolerâncias realísticas. As tolerâncias dos sistemas de fixação geralmente devem ser 20 a 50% da tolerância da peça. Em sistemas de fixação para inspeção, a tolerância deve ser 10% da tolerância da peça de trabalho;
- Impedir o encravamento ou bloqueio da peça de trabalho;
- Garantir a segurança do operador;
- Verificar o percurso completo da ferramenta antes de utilizar o sistema de fixação numa máquina automatizada. Verificar quer o percurso de maquinação quer o percurso de retorno da ferramenta para evitar a colisão da mesma com as ferramentas de fixação;

- As ferramentas de aperto devem ser grandes o suficiente para segurar a peça de trabalho em condições e em segurança, mas pequenas o suficiente para não interferirem com as operações de maquinação ou inspecção;
- O sistema de fixação deve ser projectado no sentido de satisfazer determinados critérios de segurança e bem-estar do operador: regulamentos de saúde e segurança, acesso às ferramentas de fixação, utilizar o mínimo de ferramentas, facilidade de limpeza, facilidade de manutenção, limitações de tamanho e peso.
- Independentemente do tipo de suporte, a peça deve ser apertada no maior diâmetro praticável. Deste modo, é assegurada a estabilidade da peça durante a sua fabricação, pelo que também é possível reduzir a força de aperto.

3.4.2 Graus de liberdade

Qualquer corpo rígido é livre de se movimentar em qualquer direcção. Pode movimentar-se no sentido positivo (+) ou negativo (-) ao longo de três eixos ortogonais (X, Y, Z) e rodar no sentido horário (-) ou anti-horário (+) em torno dos mesmos (A, B e C) [9]. Segundo estes três eixos, existem três graus de liberdade de translação e três graus de liberdade de rotação, o que perfaz um total de seis graus de liberdade. Cada grau de liberdade tem dois sentidos, o que corresponde a doze possibilidades de movimento para uma peça, como se apresenta na figura 3.2.

O desejado é imobilizar totalmente uma peça, para tal é necessário restringir o seu movimento nos seis graus de liberdade, para que a peça permaneça na posição correcta de trabalho.

3.4.3 Superfícies de localização

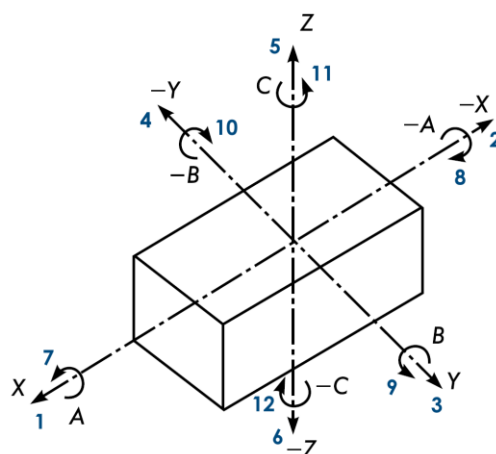


Figura 3.2 – Corpo rígido com seis graus de liberdade e doze movimentos possíveis

Um dos aspectos mais importantes no projecto de um sistema de fixação é a selecção das superfícies pelo qual a peça de trabalho deve ser localizada [16]. Ou seja, é fundamental determinar a localização das referências (*datum*) da peça de trabalho.

A referência (*datum*) é uma característica geométrica teoricamente exacta (eixos, planos, linhas rectas, etc.) em relação à qual são referidas as características toleranciadas e que se utiliza para localizar a peça ou a geometria desta. A referência pode ser baseada numa ou em mais características geométricas da peça. Um conjunto de referências forma um sistema de referência (*datum-system*) [23].

A característica da referência (*datum feature*) é uma característica real de uma peça (uma aresta, uma superfície, um furo, etc.) que é usada para estabelecer a posição de uma referência [23].

Os parâmetros que influenciam a escolha das referências (superfícies de localização) são os seguintes:

- Tolerâncias dimensionais e tolerâncias geométricas da peça, sendo estas determinantes para a sequência dos encostos e dos apertos;
- Geometria do bruto da peça (configuração, dimensões e acabamentos superficiais pré-operação);
- Sequência de operações;
- Orientação da peça em relação aos movimentos da máquina-ferramenta;
- Espaço disponível entre a peça de trabalho, a estrutura da máquina-ferramenta e a área de trabalho de maquinação;
- Dimensões e geometria das superfícies disponíveis.

3.4.4 Configurações de localização

Existem quatro configurações possíveis para localizar uma peça: planar, concêntrica, radial ou combinada/misto.

Os localizadores planares (figura 3.3 - a) localizam a peça a partir de qualquer tipo de superfície, sendo ela plana, curva ou irregular.

Os localizadores concêntricos (figura 3.3 - b) localizam a peça a partir de um eixo central que pode estar ou não no centro da peça.

Os localizadores radiais (figura 3.3 - c) restringem o movimento da peça em torno de um localizador concêntrico.

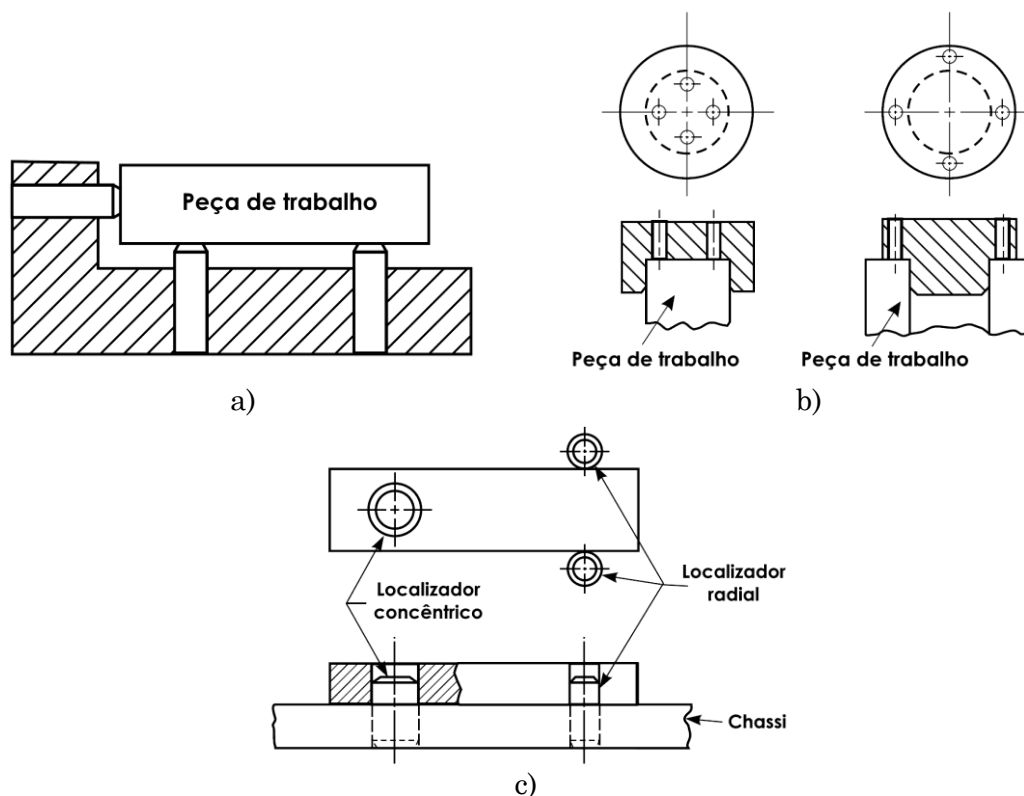


Figura 3.3 – Configurações de localização [9] (adaptado):

- a) planar
- b) concêntrica
- c) radial

3.5 Métodos de localização

Entre os vários métodos existentes para localizar peças, os mais utilizados são o método 3-2-1 e o método radial e concêntrico.

3.5.1 Método 3-2-1

A forma mais comum de localizar uma peça a partir das superfícies exteriores é o método 3-2-1 ou o método dos seis pontos, o que permite um apoio isostático. Este método permite localizar e restringir uma peça através de seis localizadores individuais.

Posicionam-se três localizadores (A, B e C) na superfície primária de localização que restringem cinco sentidos de movimento (1, 2, 3, 4 e 5), ou seja, a peça não pode rodar em torno dos eixos X e Y nem deslocar-se para baixo do eixo Z, como se ilustra na figura 3.4

Os outros dois localizadores (D e E) normalmente colocam-se na superfície secundária de localização para restringir mais três sentidos de movimento (6, 7 e 8),

deste modo a peça não pode rodar em torno do eixo Z nem movimentar-se no sentido negativo do eixo X, como se representa na figura 3.5.

O último localizador (F) é colocado na extremidade da peça para restringir o movimento axial num sentido (9), sentido negativo do eixo Y, como se apresenta na figura 3.6. Os seis localizadores restringem no total nove sentidos de movimento, os restantes três sentidos são restringidos pelas ferramentas de aperto.

Os restantes três sentidos de movimento (+X, +Y e +Z) encontram-se livres para que seja possível montar a peça no sistema de fixação. Para restringir completamente a peça são necessárias ferramentas de aperto, cuja função é também suportar as forças provocadas pelo corte por arranque de apara.

Sintetizando, as peças prismáticas devem estar localizadas com (ver figura 3.7):

- Três localizadores na superperfície maior (verde);
- Dois localizadores na segunda superfície maior (azul);
- Um localizador na superfície mais pequena (bordô).

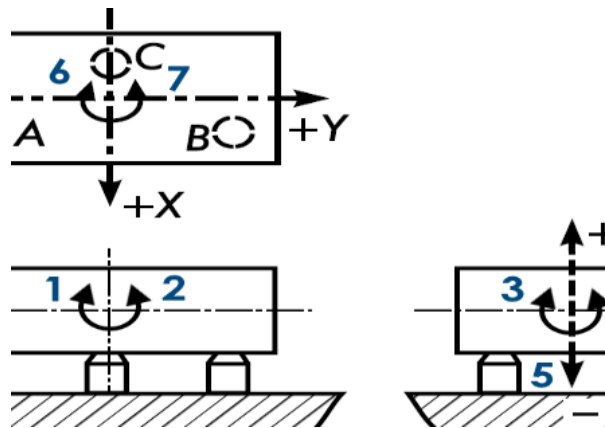


Figura 3.4 – Método 3-2-1: localizadores A, B e C [9] (adaptado)

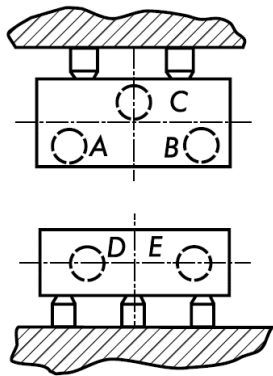


Figura 3.5 – Método 3-2-1: localizadores A,B, C, D e E [9] (adaptado)

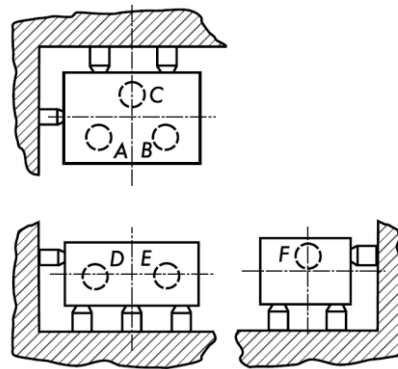


Figura 3.6 – Método 3-2-1: localizadores A, B, C, D, E e F [9] (adaptado)

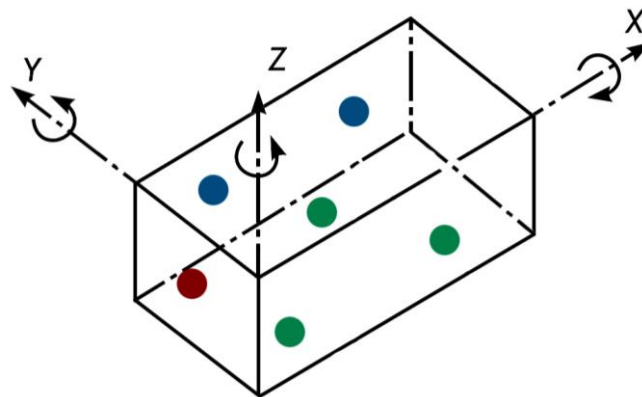


Figura 3.7 – Método de localização 3-2-1 numa peça prismática

3.5.2 Método radial e concêntrico

Uma peça que esteja localizada concêntrica e radialmente encontra-se restringida em nove sentidos de movimento. A figura 3.8 ilustra uma peça localizada concêntrica. A base e o pino central restringem o movimento em nove sentidos. A base restringe todo o tipo de movimentos descendentes e a rotação em torno dos eixos X e Y (1, 2, 3, 4, -Z5). O pino central impossibilita qualquer movimento quer na direcção transversal quer na direcção longitudinal ao longo dos eixos X e Y (-Y8, +Y10, -X9, +X12).

Para impedir a rotação em torno do eixo Z (6 e 7), posiciona-se um localizador radial como se mostra na figura 3.9. Deste modo, ambos os sentidos de rotação (+ e -) em torno do eixo Z são restringidos. O único movimento possível da peça é na vertical (+Z11), no sentido positivo do eixo Z, que é restringido pela ferramenta de aperto [9].

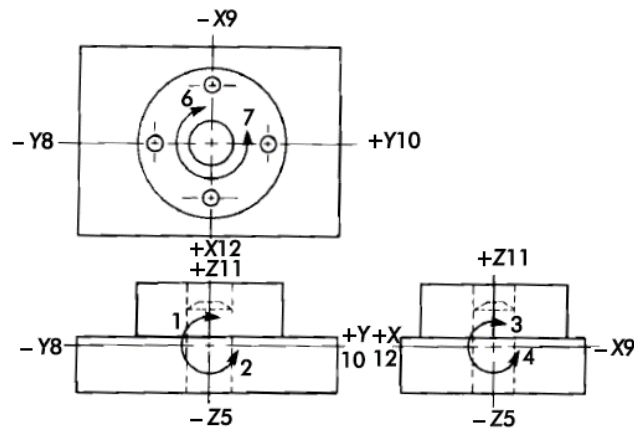


Figura 3.8 – Base e o pino central restringem o movimento da peça em nove direcções [9] (adaptado)

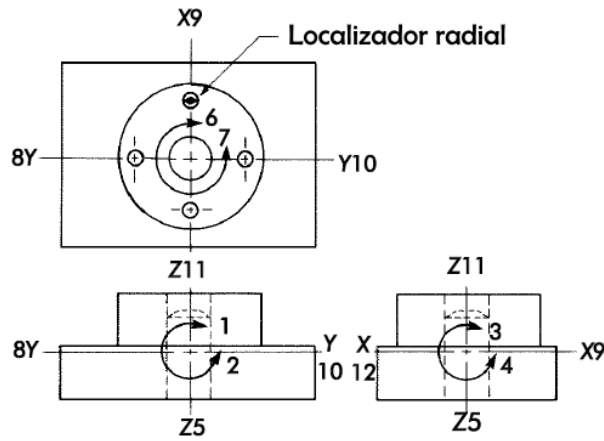


Figura 3.9 – Base, pino central e o localizador radial restringem o movimento da peça em onze direcções [9] (adaptado)

4

Metodologia

4.1 Introdução

A solução do problema em causa tem como hipótese a criação de um sistema de fixação que permita um acoplamento idêntico em diferentes máquinas na fabricação dos punções.

A metodologia apresentada pressupõe a utilização de um sistema de fixação *zero-point* (figura 4.1). Para tal, é necessário conhecer os diferentes tipos de sistemas de fixação *zero-point*, os seus fabricantes e características funcionais de cada, de forma a estabelecer critérios de decisão para uma solução adequada.

A fixação *zero-point* consiste num mecanismo com uma base (fêmea) que se fixa à mesa de trabalho da máquina-ferramenta ou à mesa da máquina de inspecção. O mecanismo *zero-point* inclui também um espigão de fixação ou *drawbar* (macho) que se fixa a uma paleta ou directamente à peça de trabalho. Este conjunto é intermutável, pelo que qualquer espigão de fixação é compatível com a respectiva base que lhe está associado.

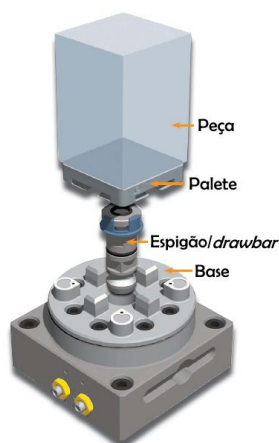


Figura 4.1 – Sistema de fixação *zero-point* [22] (adaptado)

4.2 Funcionamento da fixação *zero-point*

O funcionamento de uma fixação *zero-point* varia consoante o tipo de aperto que se realiza, isto é, se o aperto é manual, pneumático ou hidráulico. De seguida apresentam-se exemplos de sistemas *zero-point* do fabricante EROWA [24].

Aperto manual

O sistema de fixação *zero-point* com aperto manual é composto pela base (figura 4.2), - cujo desenho de conjunto está representado na figura 4.3 - pelo espigão de fixação (figura 4.4) e pela chapa de centragem (figura 4.5).

A base é constituída pelo corpo (E) que possui quatro espigões prismáticos (D) e duas marcas de referência (B), por um anel de aperto (G), quatro esferas (F), dois calços (K), duas molas (J), dois pinos roscados M4 (I) e um freio exterior (H).

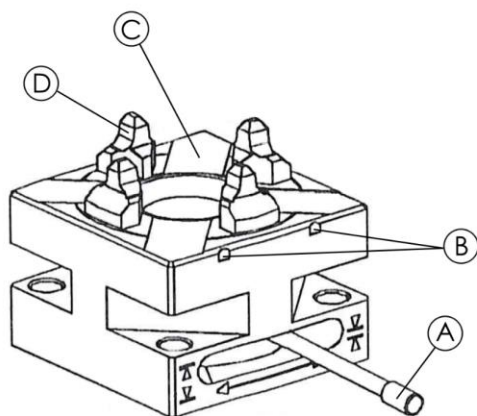


Figura 4.2 – Descrição da base QuickChuck 50 da EROWA [25] (adaptado)

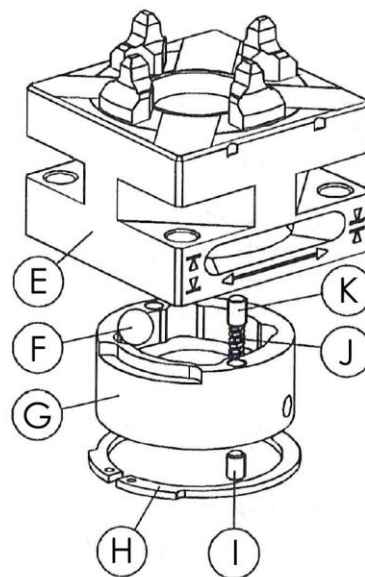


Figura 4.3 – Perspectiva explodida da base QuickChuck 50 da EROWA [25] (adaptado)

A rotação do anel de aperto central (G) no sentido horário, com recurso a uma vareta (A), pressiona as esferas (F) contra o anel cónico do espigão de fixação, apertando o espigão através de uma ligação bloqueada por atrito e garantindo a sua centragem. O desaperto realiza-se pelo procedimento inverso, ou seja, a rotação do anel de aperto central no sentido anti-horário fá-lo retirar a força nas esferas contra o espigão, criando uma folga para que este seja retirado do sistema.

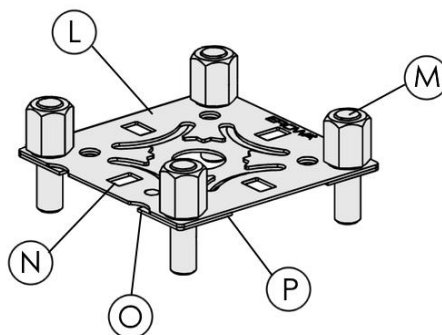
Na figura 4.4 apresenta-se a constituição e respectivas funções dos componentes do espigão de fixação.

**Legenda:**

1. Parafuso M10x45 para aparafusar à peça ou paleta;
2. Anel superior com folga para compensar o desvio;
3. Anel cônico para encaixar e prender as esferas;
4. Corpo prismático para fixar nos suportes de armazenamento;
5. Ranhura para um O-ring;
6. Superfícies fresadas de centragem.

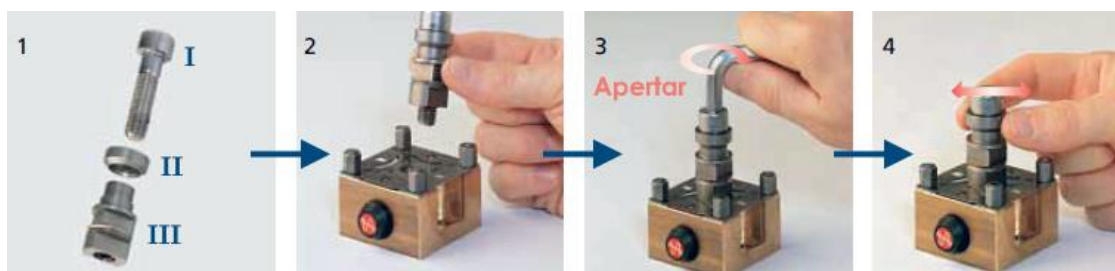
Figura 4.4 – Espigão de fixação ITS [24]

O alinhamento do sistema realiza-se por meio da chapa de centragem (L), como se apresenta na figura 4.5. A cabeça rectificada dos pinos (M) tem a função de localizar a peça de trabalho com a base de fixação; os rasgos da chapa (N) impossibilitam o deslocamento e rotação da peça de trabalho através do ajustamento com os espigões prismáticos (D) da base de fixação. Numa aresta da chapa de centragem existem duas marcas (O) com o intuito de servir de referência. A chapa de reforço (P) confere rigidez à montagem e centra o espigão de fixação.

**Figura 4.5** – Chapa de centragem ITS [26]

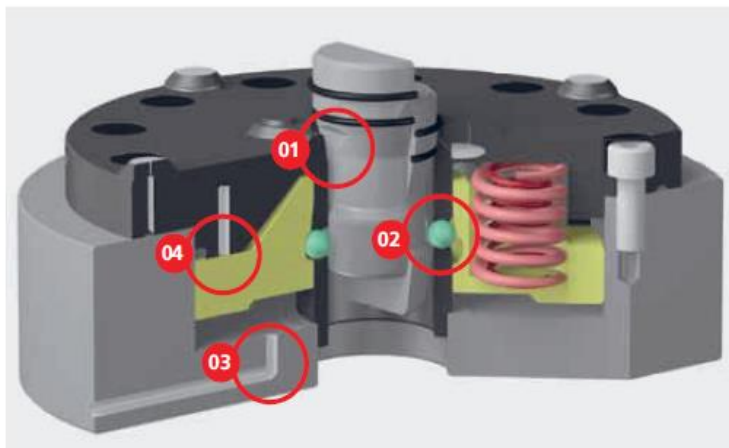
O espigão de fixação juntamente com a chapa de centragem oferece a possibilidade de poder ser aparafusado directamente a uma peça de trabalho, a um eléctrodo de electroerosão por penetração ou a uma paleta. É constituído por um parafuso M10 (I), um anel cónico (II) e um corpo fresado (III), como se representa na figura 4.6.

Os sistemas de fixação *zero-point* manuais permitem realizar uma força para segurar o espigão (força de fixação) entre 4.000 N a 10.000 N.

**Figura 4.6** – Procedimento de montagem do espigão de fixação ITS numa peça [27] (adaptado)

Aperto pneumático

O sistema de fixação *zero-point* com aperto pneumático tem como princípio de funcionamento molas com forças de compressão elevadas e um sistema pneumático para aliviar o sistema de aperto. A figura 4.7 ilustra os componentes e respectivas funções de um sistema de fixação pneumático:



Legenda:

1. Zona com centragem cónica e inserção fácil sem encravamento;
2. Mecanismo de aperto fiável com autobloqueio das esferas cerâmicas;
3. Operado pneumaticamente, apenas necessita de 6 bar de pressão de ar para abrir o sistema;
4. Controlo de abertura integrado para saber quando o sistema está aberto.

Figura 4.7 – Base *Modular Tooling System* (MTS) 2.0 [24]

As molas encontram-se à compressão, logo estão constantemente a impor uma força contra o corpo central (componente verde), que por sua vez exerce força sobre as esferas, que as desloca para o centro da base e apertam o espigão, impossibilitando que este se liberte. Para retirar o espigão é necessário aplicar uma pressão pneumática (usual de 6 bar) através da tomada de ar existente na base para forçar a subida do corpo central, comprimir as molas e deslocar as esferas, de modo a remover o aperto das esferas contra o espigão. Na figura 4.8 representa-se simultaneamente as fases de aperto e desaperto do espigão em pormenor.

Os sistemas de fixação *zero-point* pneumáticos permitem realizar uma força de fixação entre 10.000 N a 50.000 N, com a possibilidade de ser multiplicada ao instalar múltiplas bases (2, 4, 6 ou 8) consoante a dimensão da peça ou palete.

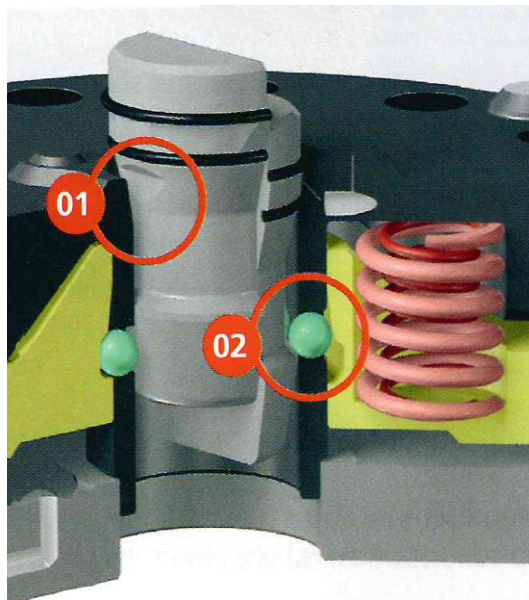


Figura 4.8 – Pormenor do sistema de aperto pneumático do espigão [24]

Os restantes sistemas de fixação *zero-point* pneumáticos têm o mesmo princípio de aperto, a diferença entre eles está na centragem do espigão ou da paleta (figura 4.9 e figura 4.10).

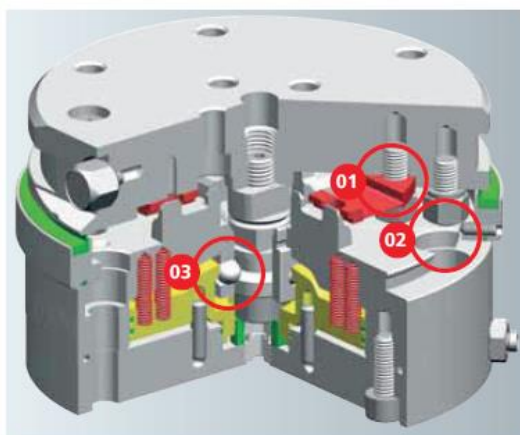


Figura 4.9 – Base *PowerChuck* [27]

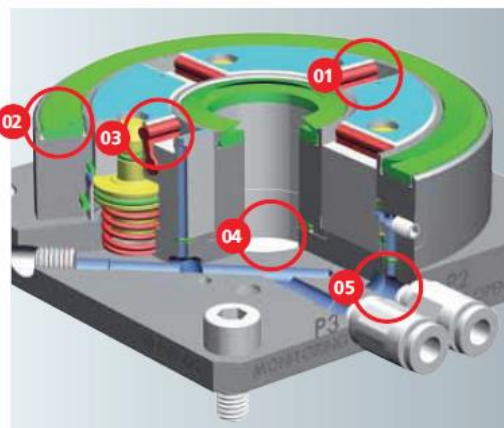


Figura 4.10 – Base *Fine Tooling System* [27]

Aperto hidráulico

Os sistemas de fixação *zero-point* hidráulicos (ver figura 4.11) têm o mesmo funcionamento que os sistemas pneumáticos, porém o fluido que exerce a força de aperto no espigão é óleo, ao invés de ar. Portanto, a força de aperto é bastante mais

elevada, dado que o óleo é praticamente incompressível em comparação com o ar. A pressão mínima para despertar o espigão é de 25 bar e a máxima é de 35 bar.

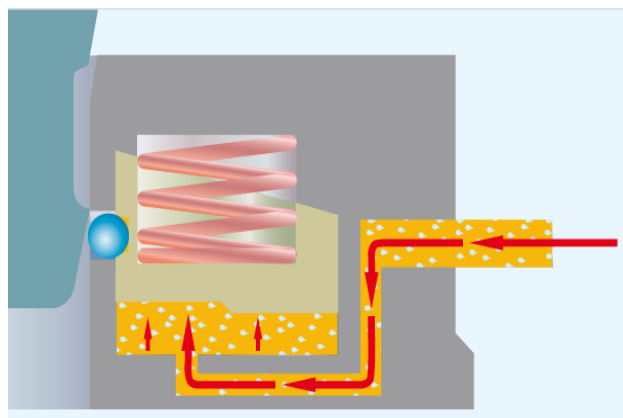


Figura 4.11 – Abertura do sistema hidráulico [24]

4.3 Vantagens da fixação *zero-point*

Uma das principais vantagens da fixação *zero-point* é garantir a fixação rápida e precisa, bem como o alinhamento de dispositivos e peças de trabalho. Este sistema pode ser utilizado em qualquer máquina-ferramenta, centro de maquinação e máquina de medição. Permite fixar paletes ou peças com uma alta repetibilidade, graças à centragem de elevada precisão entre os espigões de fixação e as bases *zero-point*.

Existem outras vantagens na utilização de um sistema deste tipo, tais como [28]:

- Montagem e desmontagem na máquina realiza-se em poucos segundos;
- Não é necessária localização e preparação na máquina-ferramenta;
- Flexibilidade em interromper processos de maquinação para procedimentos de medição;
- Enorme redução de tempos de *setup*, o que resulta numa diminuição de custos de mão-de-obra;
- Padronização do processo de fabrico ao instalar o mesmo sistema de fixação em diversas máquinas.

Na figura 4.12 mostra-se uma comparação dos tempos de maquinação e tempos das actividades que não criam valor entre um sistema de aperto convencional e um sistema de paleta. Verifica-se uma grande redução no tempo das actividades que não criam valor, o que permite agilizar o processo de fabrico e dedicar mais tempo às operações de maquinação.

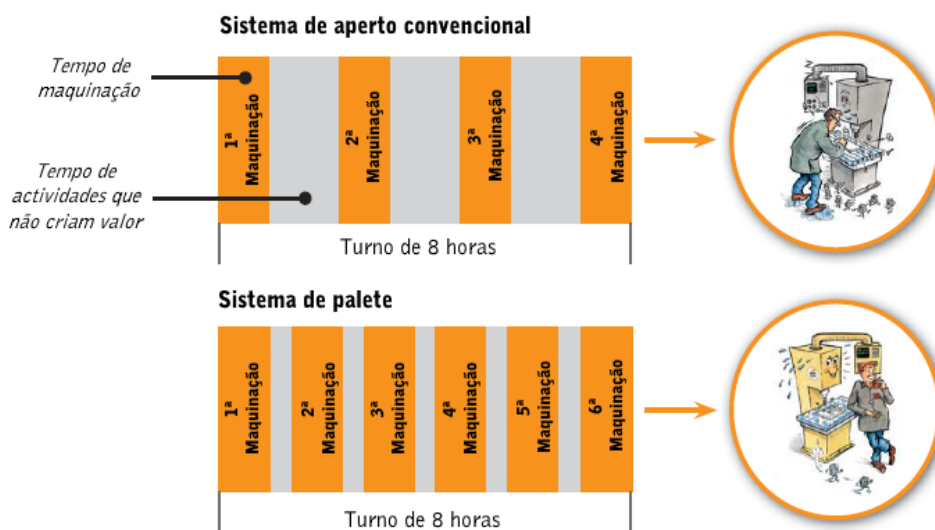


Figura 4.12 – Sistema de aperto convencional vs. sistema de palete [26] (adaptado)

4.4 Tipos de sistemas de fixação *zero-point*

Os sistemas de fixação *zero-point* enquadram-se dentro da categoria de ferramentas de fixação modulares, dada a sua versatilidade em montar e desmontar diferentes peças ou paletes nas bases de fixação.

Classificam-se pelo tipo de operação em que são utilizados, por exemplo fresagem, torneamento, rectificação, electroerosão, inspeção através de máquina de medição por coordenadas, entre outras. Contudo, é possível classificar os sistemas de fixação *zero-point* de acordo com o tipo de aperto entre a base e o espigão de fixação: manual, pneumático ou hidráulico. É possível fixar directamente uma peça ou uma paleta que, por sua vez, fixa várias peças. A paleta pode ser um mecanismo *standard* dos fabricantes ou feita por medida, de acordo com o número e geometria de peças a fixar.

Os principais fabricantes de sistemas de fixação *zero-point* são os seguintes:

- AMF - <http://www.amf.de/pt/>
- CGM - <http://www.cgmchuck.com/En/>
- EROWA - <http://www.erowa.com/en/>
- ERTEC - <https://ertec.eu/>
- Erwin Halder KG - <https://www.halder.com/eng>
- F-Tool - <http://f-tool.com/>
- Gerardi - <http://www.gerardispa.com/>
- Hirschmann - <https://www.hirschmannusa.com/>

- Jergens - <http://www.jergensinc.com/>
- Kipp - <https://www.kippusa.com/>
- ROEMHELD, HILMA and STARK - <http://www.roemheld.com/> e <http://www.stark-inc.com/>
- SMW Autoblok - <https://www.smwautoblok.com/>
- System 3R - <http://www.3rtooling.com/>
- Zero Clamp GmHB - <http://www.zeroclamp.com>

Entre os quais se destacam a EROWA, a Hirschmann, System 3R e a AMF devido à sua quota no mercado internacional, diversidade de sistemas e precisão de repetibilidade.

4.5 Seleção de sistemas *zero-point*

Dentro do leque de fabricantes de sistemas *zero-point*, optou-se pela EROWA, em virtude de ter a maior quota de mercado em Portugal, o que permite uma maior uniformização de sistemas de aperto no mercado por já se encontrar implementado em várias empresas. Contudo, o principal factor pela escolha deste fabricante é o facto de ter a maior precisão de repetibilidade (entre 5 a 1 μm), além da constante evolução e aperfeiçoamento dos sistemas de fixação, diversidade de sistemas que dispõe aos seus clientes e assistência técnica.

Os principais sistemas de fixação *zero-point* da EROWA são os seguintes:

- Modular Tooling System (MTS):
 - MTS81;
 - MTS;
 - MTS 2.0;
- Universal Power Chuck (UPC);
- CleverClamp System;
- ProductionChuck210 (PC210);
- PowerChuckP;
- Self Centering Vise;
- ClampSet;
- Integrated Tooling System (ITS);
- Fine Tooling System (FTS).

Os fluxogramas das figuras figura 4.13, figura 4.14 e figura 4.15 permitem escolher um determinado tipo de sistema de fixação do fabricante EROWA a partir de

determinados critérios de decisão: processo de fabrico, dimensões da área de trabalho, tipo de aperto (hidráulico, pneumático ou manual), elevada repetibilidade, forças de maquinação, quantidade de peças, peça ou eléctrodo e peso.

O fluxograma 0 é o principal, tem como função identificar o processo de fabrico para se posteriormente se escolher o sistema de *zero-point* adequado.

O fluxograma 1 permite escolher o sistema *zero-point* adequado para processos de fabrico que envolvam maquinações pesadas, ou sejam, elevadas forças de maquinação e/ou elevadas taxas de remoção de material.

O fluxograma 2 permite escolher o sistema *zero-point* adequado para a fabricar peças por electroerosão por penetração, fresar eléctrodos ou fresar ferramentas ou pequenos moldes.

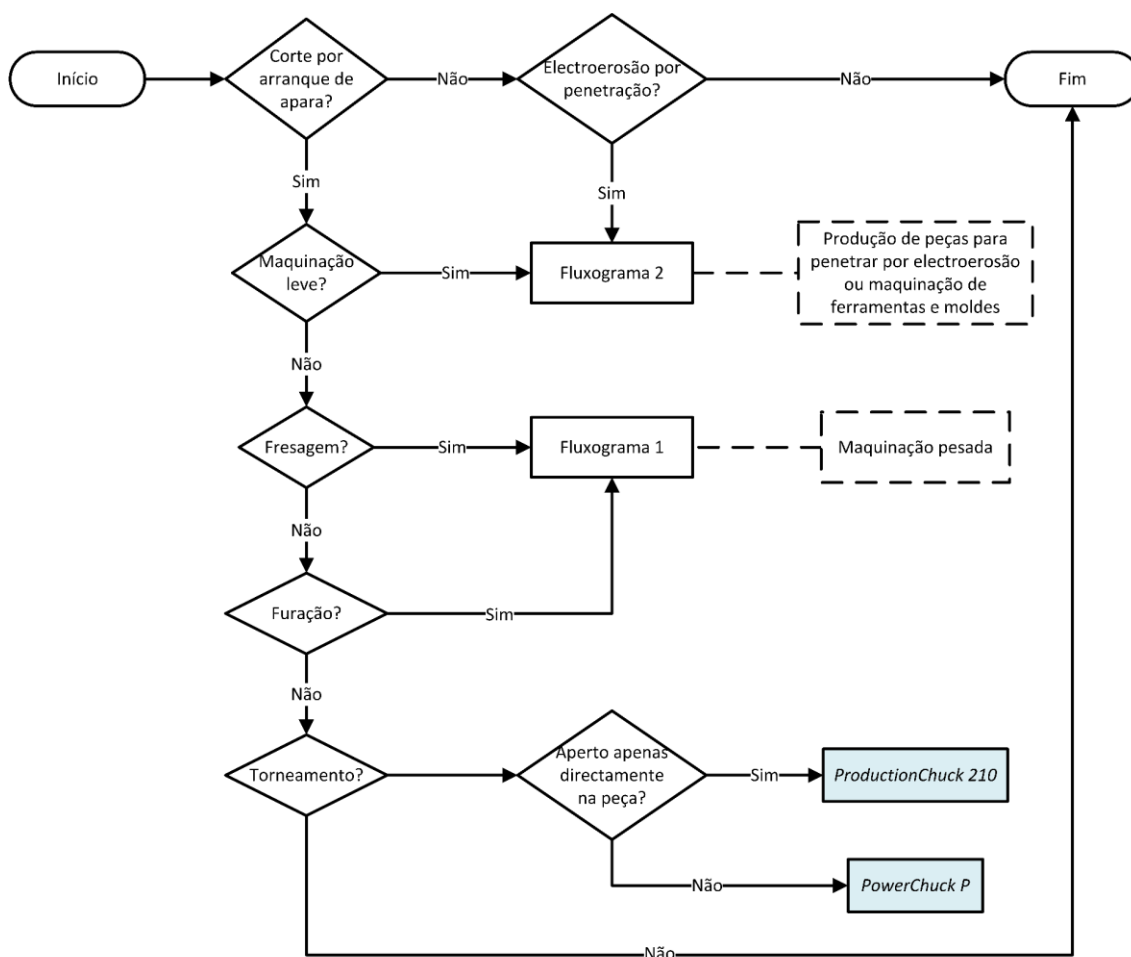


Figura 4.13 – Fluxograma 0: identificação do processo de fabrico para escolha do sistema *zero-point*

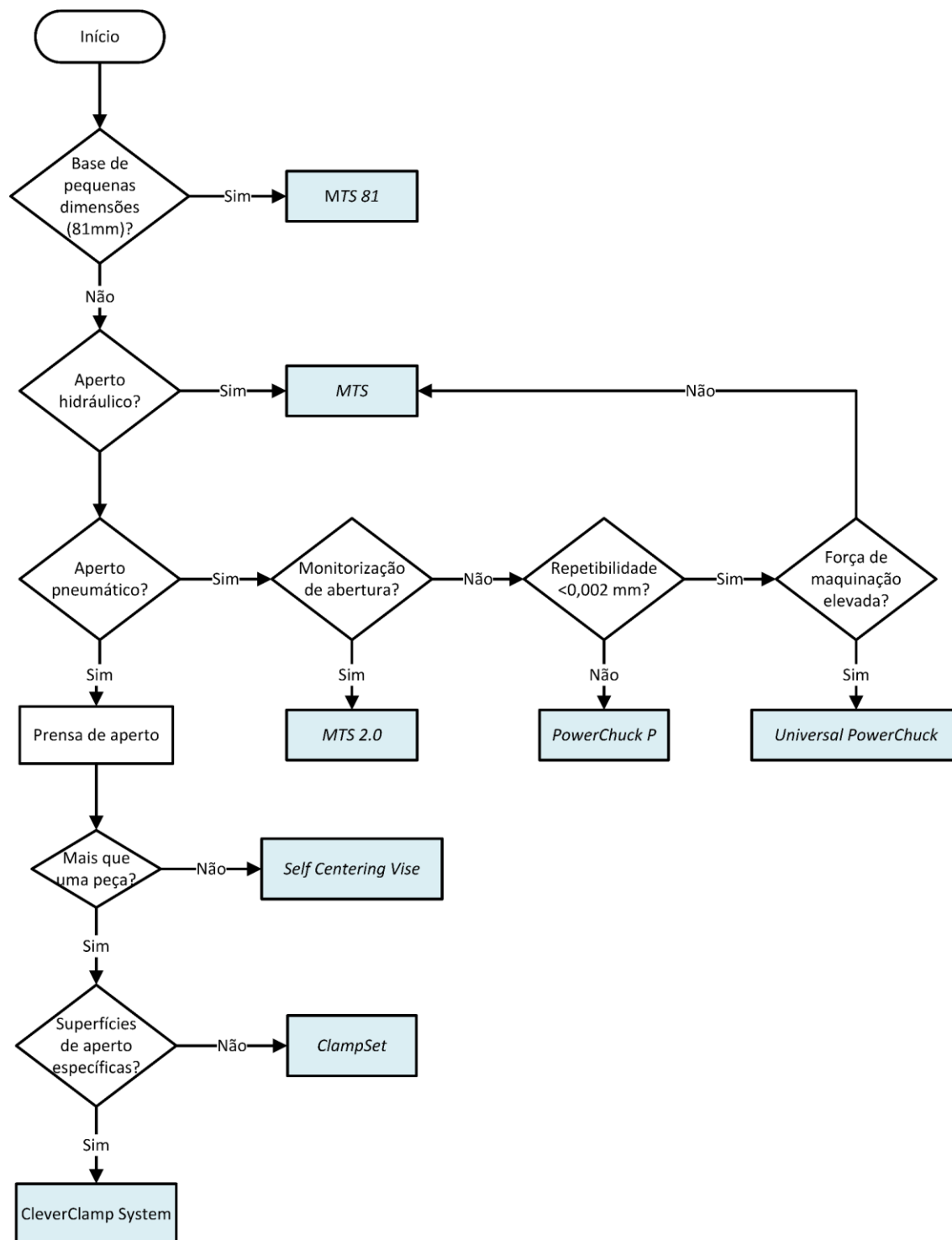


Figura 4.14 – Fluxograma 1: sistemas de fixação zero-point para maquinação pesada

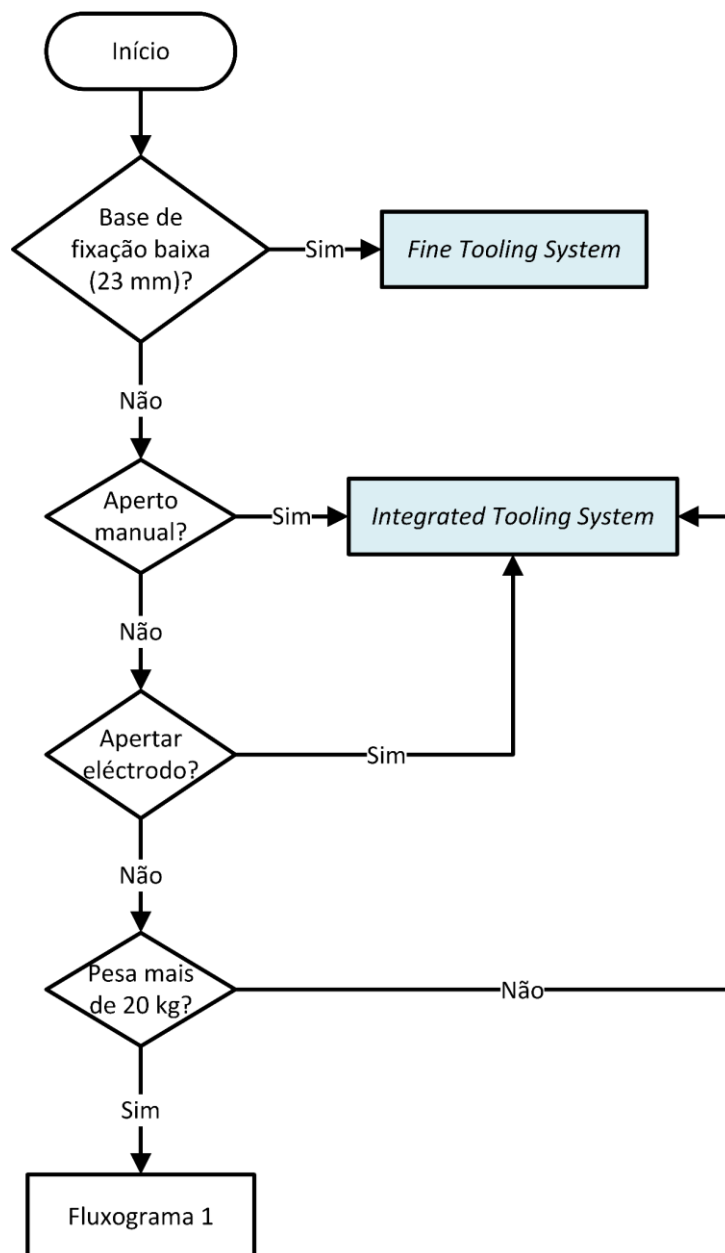


Figura 4.15 – Fluxograma 2: sistemas de fixação *zero-point* para produção de peças por electroerosão, maquinação de ferramentas ou moldes

5

Projecto do Sistema de Fixação

5.1 Introdução

A solução para diminuir o tempo de *setup* na produção de punções do tipo B tem como base um projecto que consiste em fabricar um sistema de fixação em formato de palete para maquinar e inspeccionar um lote de punções superiores ou inferiores, recorrendo a um sistema *zero-point*.

Um bom projecto é aquele que tem uma solução com as seguintes características:

- Projecto económico: material, fabricação, operação e manutenção;
- Compacta;
- Leve;
- Simples;
- Menor nº de componentes possível;
- Fácil de fabricar, operar e manter;
- Esteticamente agradável;
- Atende às necessidades.

Tratando-se de um sistema de fixação, é fundamental que contenha as seguintes funções [10]:

1. Posicionamento da peça;
2. Manutenção da posição da peça;
3. Ligação com a máquina-ferramenta;
4. Estrutura para garantir posicionamentos relativos e acessos das ferramentas à peça;
5. Regulação da ferramenta.

Na figura 5.1 representa-se o fluxograma da sequência de desenvolvimento do projecto:

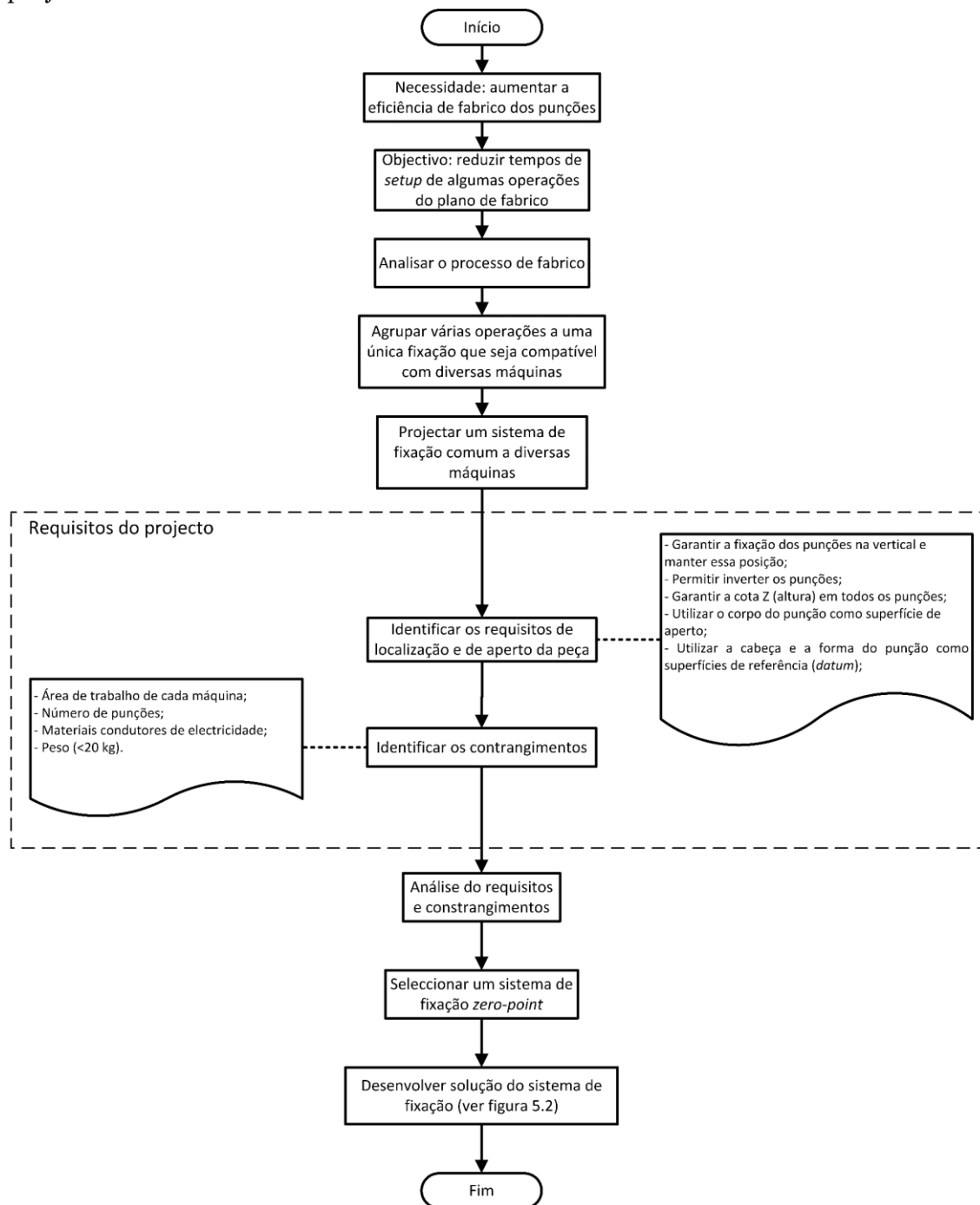


Figura 5.1 – Fluxograma do desenvolvimento do projecto

5.2 Requisitos do projecto

Um dos aspectos fundamentais de projecto é uma identificação correcta dos requisitos do sistema de fixação, nomeadamente: constrangimentos, superfícies de

localização das peças, processos de maquinação e respectivas operações, tolerâncias da peça de trabalho, especificações do material, área de trabalho disponível, parâmetros de corte, entre outros.

Posteriormente é necessária uma análise de todos os dados recolhidos, de maneira a gerar propostas de soluções, começando pela análise da peça e do plano de processo. Ao analisar a peça, deve-se ter em consideração os seguintes factores:

- Dimensões gerais e forma da peça;
- Tipo e estado do material da peça;
- Tipo de operações de maquinação;
- Grau de precisão;
- Número de peças a fabricar;
- Superfícies de localização e superfícies de aperto.

Um dos requisitos fundamentais no projecto de um sistema de fixação é o conceito de *foolproof*, “à prova de idiota”. Um sistema *foolproof* é um termo utilizado para referir que o sistema está projectado para que a peça e/ou sistema apenas consiga ser montado na posição correcta, independentemente das qualificações do operador.

No projecto de um sistema de fixação existem quatro etapas principais:

1. Análise da peça
2. Análise de operações
3. Análise de máquinas
4. Análise do operador

Análise da peça

De modo a assegurar as especificações do produto, é necessária uma análise detalhada do mesmo. Na tabela 5.1 reúne-se a análise da peça.

Tabela 5.1 – Requisitos do projecto: análise do peça

Propriedades da peça	
Dimensões	$L_{total} = 133,6 \text{ mm}$ $\phi_{corpo} = 19 \text{ mm}$ $\phi_{cabeça} = 25,7 \text{ mm}$ (Ver anexo A)
Peso	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Punção superior = 286 g ▪ Punção inferior = 242 g
Material	Aço BÖHLER K890 (L100)

(continua)

Tabela 5.1 – Requisitos do projecto: análise do peça (continuação)

Condições	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Torneado; ▪ Temperado.
Módulo de Elasticidade (a 20 °C)	212 GPa
Dureza	61 HRC 642 HB
Densidade (a 20 °C)	7,7 kg/dm ³
Condutividade Térmica (a 20 °C)	16,3 W/(m.K)
Resistência eléctrica (a 20 °C)	0,64 Ω.mm ² /m (0,64×10 ⁻⁶ Ω/m)
Coefficiente de expansão térmica (a 100 °C)	11,2×10 ⁻⁶ K ⁻¹
Calor específico (a 20 °C)	460 J/(kg.K)
Maquinalidade	Boa
Especificações	
Precisão (tolerâncias)	0,01 mm (anexo A)
Pontos de localização	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superfície inferior da cabeça ▪ Base da cabeça; ▪ Base da ponteira;
Superfície(s) de aperto	Corpo
Quantidade de produção	Pequena escala

Análise de operações e de máquinas-ferramenta

Na tabela 5.2 analisam-se as operações a executar e as máquinas-ferramenta a utilizar em simultâneo, uma vez que ambas as análises estão interligadas entre si.

Tabela 5.2 – Requisitos do projecto: análise de operações e máquinas-ferramenta

Rectificação da cabeça	
Máquina-ferramenta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelo: Sunny Machinery SGS-1020 ▪ Potência do motor da mó = 2 hp ≈ 1,5 kW ▪ Velocidade de rotação = 2850 RPM ▪ Diâmetro da mó = 203 mm ▪ Largura da mó = 13 mm ▪ Área de trabalho = 500x230 mm ▪ Dimensões da mesa magnética = 350x150 mm
Parâmetros de corte	$p = 0,12 \text{ mm}$ $e = 0,1 \text{ mm}$ $v_{\text{mesa}} = 200 \text{ mm} / \text{s}$ $n = 1400 \text{ RPM}$
Refrigeração	N/A
Superfície de aperto	Corpo (aperto mecânico)
Superfície de localização	Superfície inferior da cabeça
Requisitos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Garantir a verticalidade dos punções; ▪ Localizar os punções pela superfície inferior da cabeça; ▪ Manter a zona de trabalho limpa das aparas da rectificação.

(continua)

Tabela 5.2 – Requisitos do projecto: análise de operações e máquinas (continuação)

Rectificação da ponteira	
Máquina-ferramenta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelo: BLOHM SIMPLEX 7 ▪ Potência do motor da mó = 5,50 hp \approx 4,1 kW ▪ Velocidade de rotação = 1400 a 2800 RPM ▪ Diâmetro da mó = 300 mm ▪ Largura da mó = 80 mm ▪ Área de trabalho = 700×350 mm
Parâmetros de corte	<p>$p = 0,5 \text{ mm}$ $e = 0,8 \text{ mm}$ $v_{\text{mesa}} = 200 \text{ mm} / \text{s}$ $n = 1400 \text{ RPM}$</p>
Refrigeração	N/A
Superfície de aperto	Corpo (aperto mecânico)
Superfície de localização	Base da cabeça
Requisitos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Garantir a verticalidade dos punções; ▪ Encostar a base dos punções na mesa magnética; ▪ Retirar as rebarbas.
Remoção manual de rebarbas	
Máquina-ferramenta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelo: SIMEB H71B/4 ▪ Potência do motor da mó = 0,5 hp \approx 0,37 kW ▪ Velocidade de rotação = 1380 RPM
Parâmetros de corte	$n = 1380 \text{ RPM}$
Refrigeração	N/A
Superfície de aperto	Corpo (aperto manual)
Superfície de localização	N/A
Requisitos	Remover apenas a rebarba resultante da rectificação sem alterar a geometria da ponteira
Electroerosão da cavidade da ponteira	
Máquina-ferramenta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelo: ONA NX3 ▪ Voltagem/Tensão = 400 V ▪ Corrente = 14,6 A ▪ Ar comprimido = 6 bar (mínimo) ▪ Área de trabalho = 400x300 mm ▪ Dimensões da mesa = 600x400 mm ▪ Limitação de peso = 750 kg ▪ Resolução de posicionamento = 0,001 mm ▪ Resolução de rotação = 0,001°
Lavagem	Sim (cavidade da ponteira)
Superfície de aperto	Corpo (aperto manual)
Superfície de localização	Base da cabeça
Requisitos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Componentes do sistema de fixação têm de ser condutores de electricidade; ▪ Alinhar a ponteira dos punções ou centrar os eléctrodos; ▪ Não obstruir o percurso do eléctrodo; ▪ Garantir um intervalo entre punções constante; ▪ Erodir um punção de ensaio.

(continua)

Tabela 5.2 – Requisitos do projecto: análise de operações e máquinas (continuação)

Polimento manual	
Máquina-ferramenta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelo: <i>Diprofil</i> ▪ Pressão máx. = 6 bar ▪ Velocidade de rotação = 3000 RPM ▪ Área de trabalho = 800×500 mm
Parâmetros de corte	$n = 30000RPM$
Refrigeração	N/A
Superfície de aperto	Corpo (aperto pneumático)
Superfície de localização	N/A
Requisitos	Manter a estação de trabalho ergonómica;
Operações de Inspeção	
Verificação da geometria da cabeça	Calibre passa-não-passa
Medição da cota B e profundidade da cavidade da ponteira	Comparador / Máquina de medição por coordenadas

Análise do operador

Na tabela 5.3 identificam-se os aspectos e as considerações a ter em conta em relação ao operador, como por exemplo: tempo de manuseamento, fadiga e segurança do operador, etc. Estes aspectos estão directamente relacionados com a montagem, aperto, desmontagem da peça de trabalho e limpeza do sistema de fixação.

Tabela 5.3 – Requisitos do projecto: análise do operador

Análise do operador	
Equipamento de Segurança	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Óculos de protecção ▪ Luvas
Regras de Trabalho e Procedimentos de Segurança	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limpeza das peças e área de trabalho; ▪ Armazenamento das peças num local próprio;
Economia do Movimento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manter as peças de trabalho e ferramentas o mais perto possível do espaço de trabalho; ▪ Tornar acessíveis as zonas de aperto das peças de trabalho.
Cansaço/Fadiga do Operador	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso Punções + Palete < 20 Kg
Possibilidade de Automatização	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inspeção das cotas
Requisitos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Posição ergonómica de trabalho; ▪ Impedir a acumulação de aparas; ▪ Elementos de auxílio de transporte; ▪ Ajudas visuais de montagem.

Escolha do número de punções do sistema de fixação

O número óptimo de punções que a palete permite acomodar por lote está dependente do espaço disponível nas máquinas de rectificação, electroerosão por penetração e máquina de medição por coordenadas, do número médio de punções que os clientes encomendam e do número usual de punções com que máquinas de compressão de comprimidos trabalham.

Os principais fabricantes de máquinas de compressão de comprimidos são a Manesty [29], a Fette [30], a Kiliam [31], a Ronchi [32], a Courtoy [33], a Cadmach [34], a Sejong [35], a Ima [36] e a Eurotab [37]. Cada máquina de compressão de comprimidos é específica para trabalhar com punções de uma determinada norma (EU ou TSM), tipo (B, D, BB, DB, outros) e número de punções. As máquinas de compressão de comprimidos que utilizam punções da norma EU do tipo B trabalham com 13, 16, 19, 26, 28, 30, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 44, 45, 48, 50, 51, 63, 65, 67, 64, 71, 73, 77, 81, 85 ou 87 jogos (pares) de punções (superiores e inferiores) consoante o modelo.

A palete permite fixar um conjunto de punções superiores ou um conjunto de punções inferiores. Com base nos principais fabricantes de máquinas de compressão de comprimidos, conclui-se que o número mais frequente de jogos punções utilizados são 48, ou seja, 96 punções ao todo.

A partir da análise do número de obras de punções do tipo B da empresa durante o período de um mês, conclui-se que o número mais frequente para produção de jogos de punções por lote são 44, ou seja, 88 punções ao todo.

Define-se que o número adequado a produzir são 48 jogos de punções, o que corresponde a três paletes completas com 16 punções cada, com base no constrangimento das áreas de trabalho das máquinas-ferramenta.

5.3 Fases do projecto

Após a análise dos requisitos e constrangimentos do projecto, inicia-se o desenvolvimento da solução do sistema de fixação. Trata-se de um processo evolutivo, onde a partir de uma solução inicial se alcança uma solução final que é funcional e ergonómica, como se representa no fluxograma da figura 5.2. No fluxograma da figura 5.3 apresenta-se o raciocínio do dimensionamento. Depois da conclusão da configuração do sistema de fixação, avaliam-se os esforços e as deformações, de forma a dimensionar os componentes funcionais e obter a geometria final da solução. Por fim, especificam-se as tolerâncias funcionais e concebem-se os desenhos finais.

É necessário ter em consideração as seguintes directrizes:

- O projecto deve ser funcional e simples;
- Ter preferência por componentes *standard*;
- Não utilizar tolerâncias demasiado apertadas;
- Reduzir ou eliminar operações de maquinação desnecessárias.

Na tabela 5.4 encontra-se uma síntese das propostas a considerar como hipóteses para o sistema de fixação com os respectivos prós e contras que conduziram posteriormente à solução do projecto final.

As operações de fabrico requerem que os punções se encontrem na vertical, logo considerou-se uma simples grade rectangular com furações verticais para montar os punções (tabela 5.4 - B). Uma grade em formato circular (tabela 5.4 - F) tornar-se-ia demasiado instável e pouco prática, uma vez que a rectificação é realizada num movimento linear vaivém. Uma grade composta por blocos em V (tabela 5.4 - A) não seria prática no momento de transportar ou inverter a palete. Uma grade com uma furação para o corpo dos punções e rasgo transversais (tabela 5.4 - E) para poder apertar o corpo dos punções necessitaria de uma enorme força de aperto nos parafuso para provocar um deslocamento no material maciço da grade.

Para localizar os punções pela cabeça, inicialmente, propôs-se um casquilho individual em forma de gola (tabela 5.4 - C), contudo iria aumentar o número de peças do sistema e consequentemente o custo de fabrico, reduzindo o nível de simplicidade. A proposta de uma estrutura em forma de pente (tabela 5.4 - D) revela falta de rigidez e dificuldades em fixar à grade.

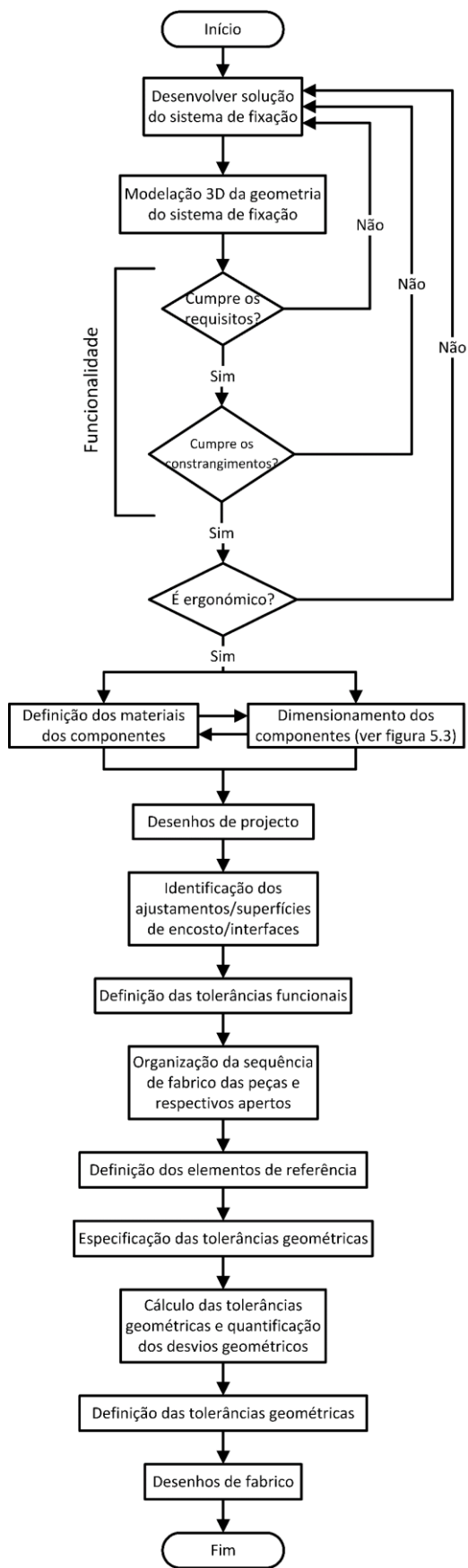


Figura 5.2 – Fluxograma do desenvolvimento da solução final

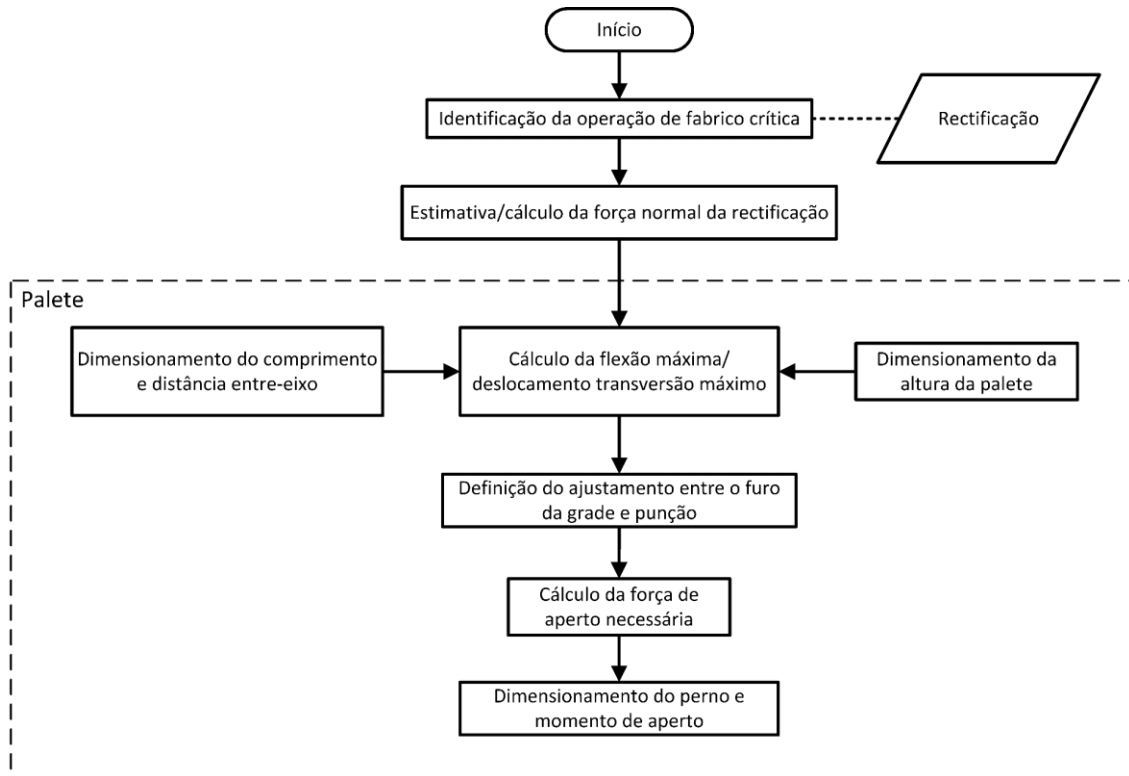
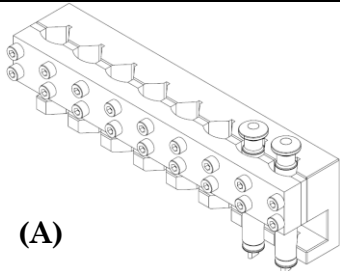
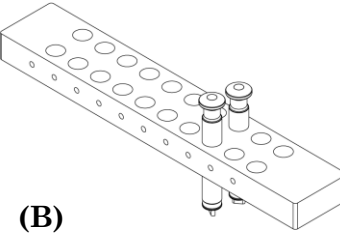
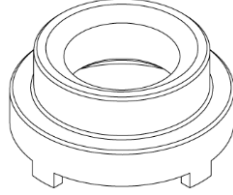
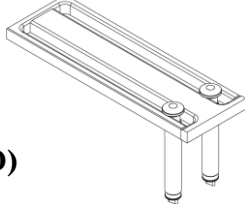
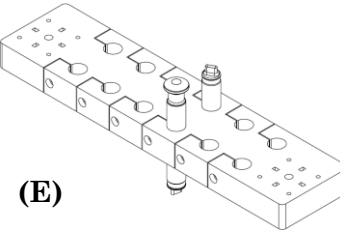
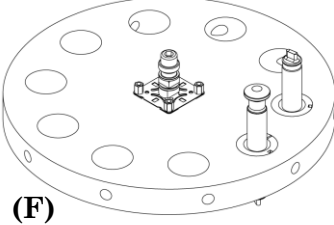


Figura 5.3 – Fluxograma do dimensionamento dos componentes do sistema de fixação

Tabela 5.4 – Conjunto de propostas a considerar como hipóteses para o sistema de fixação

Proposta	Prós	Contras	Observações
 <p>(A)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Precisão na localização da peça; ▪ Rigidez 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensões elevadas; ▪ Peso ▪ Sistema de aperto interdependente. 	<p>Grade em boca-de-lobo: Grade com superfícies de aperto em formato de boca de lobo</p>
 <p>(B)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Simplicidade; ▪ Peso; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema de aperto danifica os punções; ▪ Desgaste dos furos da grade 	<p>Grade simples: Grade com furação lateral para apertar o corpo dos punções directamente com parafusos. Semelhante ao actual, mas com fixação <i>zero-point</i></p>
 <p>(C)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fácil localização da cabeça do punção 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento do número de peças; ▪ Aumento da complexidade de montagem e localização; 	<p>Gola individual: casquilhos com chanfro para localizar a cabeça do punção</p>
 <p>(D)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fácil localização da cabeça do punção 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta de rigidez; ▪ Montagem inadequada/pouco prática; 	<p>Gola em pente: Garfo com chanfros para localizar a cabeça dos punções</p>
 <p>(E)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução do número de peças 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Introdução de tensões directamente na grade; ▪ Requer força de aperto elevada; 	<p>Grade s/ casquilhos/"deformável": Grade com rasgos transversais nos furos para apertar o corpo dos punções</p>
 <p>(F)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compacto 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instabilidade criada pela distância dos punções ao centro na rectificação; ▪ Pouco prático 	<p>Grade circular: Grade em formato circular</p>

5.4 Descrição do sistema de fixação

O sistema de fixação, representado na figura 5.4, é constituído por uma grade em aço com duas pegas laterais em plástico, de modo a auxiliar no transporte e rotação. Tanto na face de topo como na face da base da grade encontram-se aparafusados os espigões de fixação responsáveis pela fixação da paleta às bases *zero-point*.

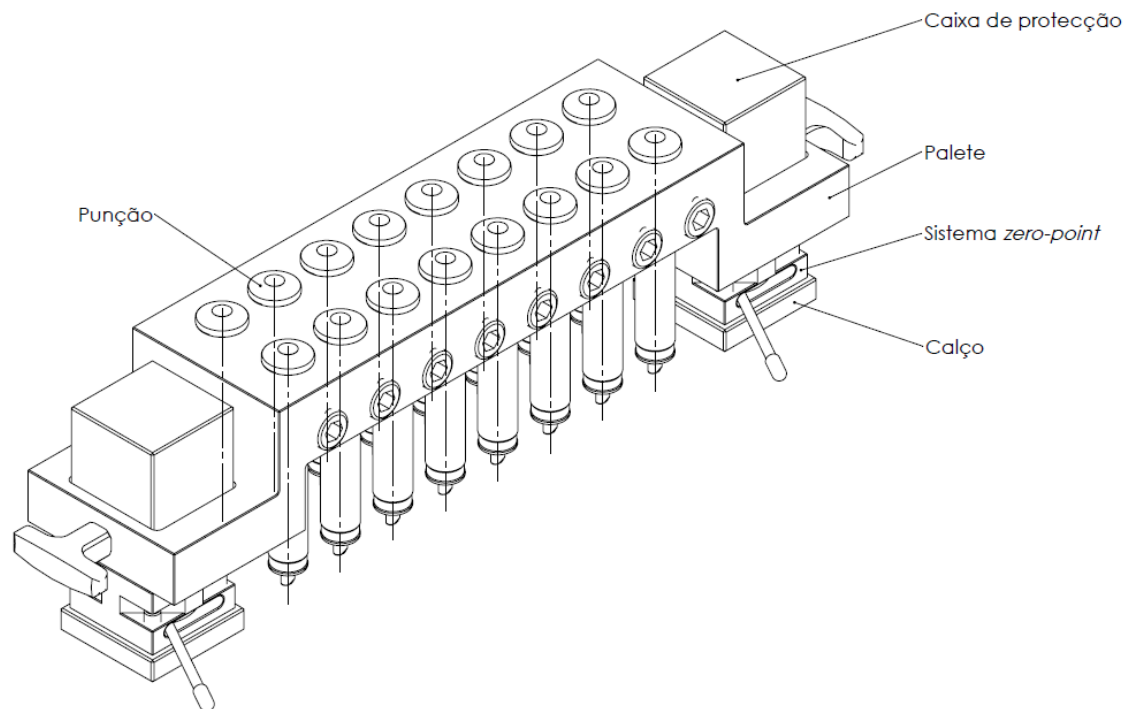


Figura 5.4 – Perspectiva isométrica do sistema de fixação

A grade é composta por dezasseis furos onde se inserem os punções que são fixos através de ligações aparafusadas.

Os chanfros dos furos permitem localizar os punções durante a operação de rectificação das cabeças.

Existem duas caixas de protecção em *nylon* para proteger os espigões de fixação que se montam no interior das caixas na face de topo da grade quando os punções estão a ser rectificados.

5.4.1 Funcionamento

Na figura 5.5 identificam-se quer a superfície de aperto, quer as superfícies de referência de cada punção, que são:

- Superfície inferior da cabeça (*datum A*);
- Superfície da base da cabeça (*datum B*).

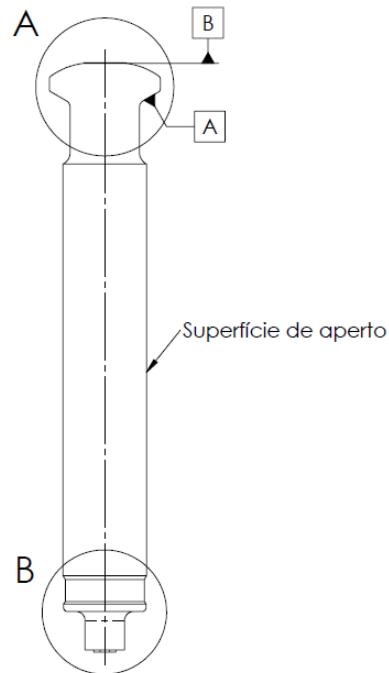


Figura 5.5 – Superfícies de aperto e referência

Na primeira operação de fabrico do caso de estudo, a paleta é montada nas bases *zero-point* que se encontram parafusadas em calços em cima da mesa magnética. Inserem-se os punções pelo topo até a cabeça (*datum A*) de cada um encostar nos chanfros dos furos, de seguida apertam-se os parafusos dos elementos de aperto para fixar os punções e montam-se as caixas de protecção. Trata-se do primeiro *setup* e primeira configuração do sistema de fixação (figura 5.6). Realiza-se a rectificação nas cabeças para retirar 0,12 mm, representado pelo pormenor A na figura 5.7.

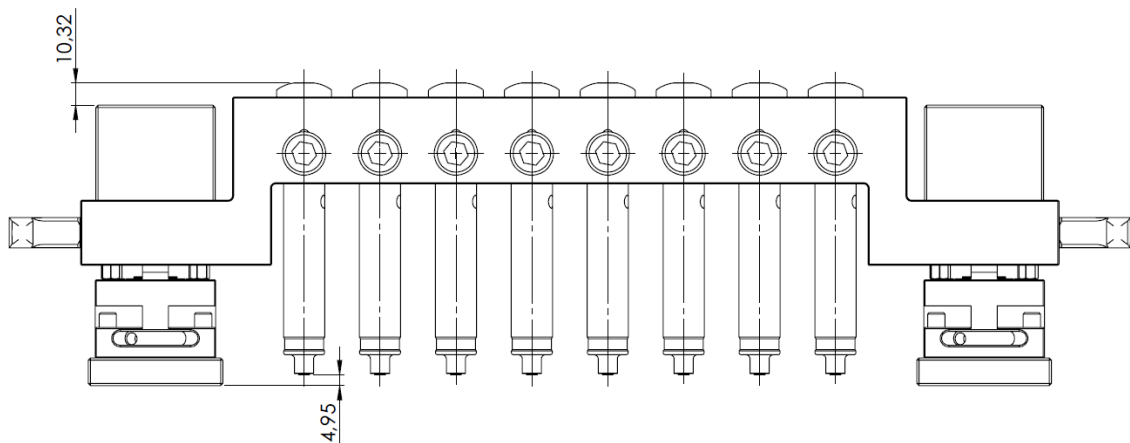


Figura 5.6 – Primeira configuração de montagem

Na segunda operação, a paleta é desmontada das bases *zero-point*, virada ao contrário e montada novamente. As cabeças dos punções (*datum B*) ficam assentes na mesa. Trata-se do mesmo *setup*, uma vez que os punções não necessitam de ser ajustados. O sistema de fixação permanece nesta segunda configuração (figura 5.8),

ainda que em diferentes máquinas, até à última operação do caso de estudo, o polimento. Realiza-se a rectificação na ponteira dos punções para retirar 0,50 mm, representado pelo pormenor B da figura 5.9.

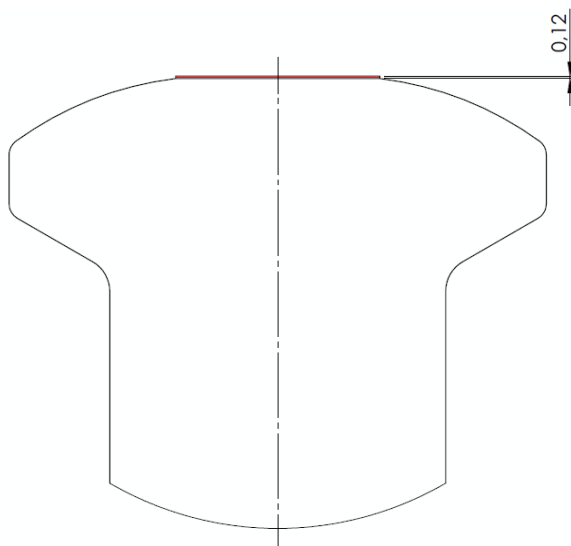


Figura 5.7 – Pormenor A: material removido na rectificação da cabeça do punção

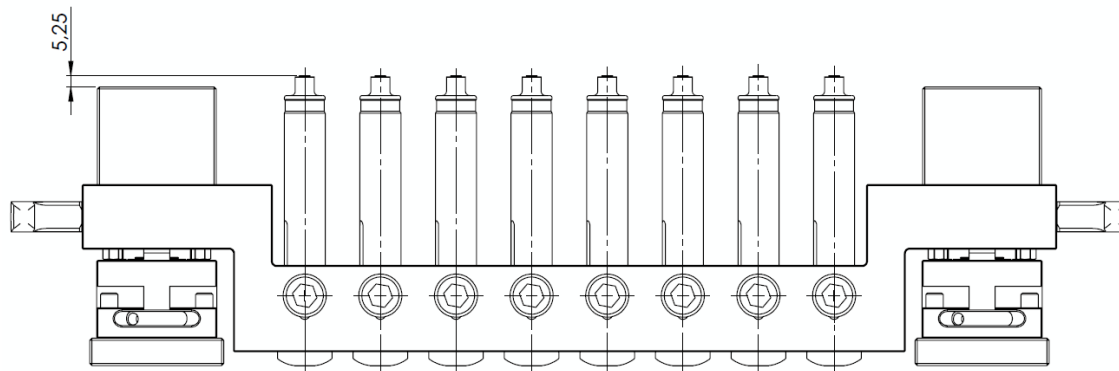


Figura 5.8 – Segunda configuração de montagem

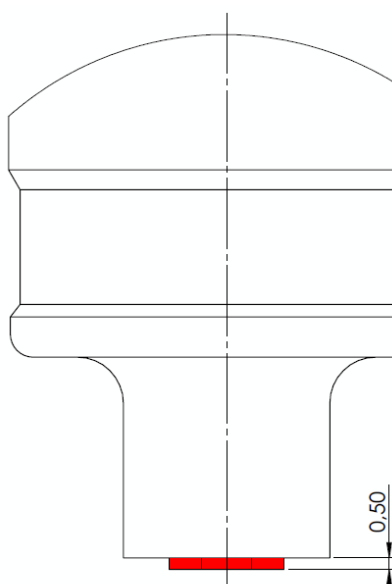


Figura 5.9 – Pormenor B: material removido na rectificação da ponteira do punção

Na terceira operação, apoia-se a palete sobre dois blocos e remove-se a rebarba da ponteira dos punções, resultante da operação de rectificação anterior. Utiliza-se uma ferramenta rotativa.

Na quarta operação, monta-se a palete nas bases *zero-point* instaladas na mesa da CMM e executa-se o programa de medição de centros dos punções.

Na quinta operação, monta-se a palete nas bases *zero-point* instaladas na mesa da máquina de electroerosão, novamente com a cabeça dos punções localizada numa base e maquina-se a concavidade da ponteira dos punções.

Na sexta operação, monta-se novamente a palete nas bases *zero-point* instaladas na mesa da CMM, executa-se o programa inspecção para medir a cota B dos punções e a profundidade da ponteira.

Na sétima (última operação) do caso de estudo, apoia-se a palete sobre dois blocos e realiza-se o polimento da ponteira dos punções.

No anexo C apresentam-se os procedimentos a adoptar nas operações do caso de estudo para preparar, montar e desmontar quer o sistema de fixação projectado quer os punções. Estes procedimentos incluem a sequência de montagem, de modo a garantir a localização e o aperto correcto dos punções.

Torna-se vantajoso instalar apoios num material com uma dureza inferior à da palete para apoiá-la e armazená-la em cada estação de trabalho. O desenho encontra-se no anexo D.

Reformulou-se o plano de processo actual, de modo a reduzir o número, e consequentemente, o tempo de *setup* das operações do caso de estudo ao utilizar-se o sistema de fixação projectado, como se apresenta na tabela 5.5. O único *setup* existente deve-se ao facto de com o sistema de fixação projectado, apenas ser necessário apertar os punções uma única vez. Posteriormente é necessário fixar a palete em cada máquina ferramenta através das bases *zero-point*

No anexo E encontra-se o fluxograma do processo de fabrico do caso de estudo na situação que se propõe.

Tabela 5.5 – Plano de fabrico proposto para um lote de punções do caso de estudo

Referência:		Designação:		Data:	
punc_sup_final		Punção Superior Oblongo – Tipo B		Fev 2017	
Material:		Dimensões Gerais:			
Aço BÖHLER K890 (L100) – Ø26x141 mm		Ø25,27x133,6 mm			
#	Máquina	T. Setup [s]	Instruções	Ferramentas e Parâmetros	
Setup 1	01	Manual	–	Montar a palete pelas bases <i>zero-point</i> . Inserir os punções e apoiar as cabeças nos chanfros dos furos da grade. Apertar punções através das ferramentas de aperto	Manual. Chave sextavada interior
	02	Rectificadora	–	Rectificar a cabeça do punções	Mó abrasiva grossa
	03	Rectificadora	–	Virar a palete e rectificar as ponteiras	Mó abrasiva grossa
	04	Ferramenta rotativa	–	Remover a rebarba das ponteiras	Ponteira de borracha abrasiva
	05	Máquina de medição por coordenadas	–	Determinar o centro de cada eléctrodo em relação ao eléctrodo de referência	Apalpador/Sonda com ponta esférica
	06	Máquina de medição por coordenadas	–	Montar a palete. Determinar o centro de cada punção em relação ao punção de referência	Apalpador (sonda com ponta esférica)
	07	Máquina de electroerosão	–	Erodir a ponteira dos punções	Eléctrodos
	08	Máquina de medição por coordenadas	–	Medir a cota B de cada punção	Sonda com ponta esférica
	09	Ferramenta de polimento	–	Polir a ponteira de cada punção	<i>Diprofil</i>

5.5 Aspectos ergonómicos e segurança de utilização

Para além de garantir a funcionalidade, teve-se em consideração o bem-estar e desempenho dos operadores de máquinas, pelo que se fez um estudo e análise do

trabalho manual durante o *setup* dos punções nas máquinas para melhorar os aspectos ergonómicos do sistema de fixação.

Procurou-se desenvolver uma boa integração entre as condições de trabalho, as capacidades e limitações físicas e psicológicas do trabalhador com o objectivo de aumentar a segurança, a saúde, o conforto do trabalhador e a eficiência de produção.

Durante o transporte da palete, o operador deve adoptar uma postura vertical, exigindo um esforço maior da musculatura dos braços para montar ou desmontar a paleta. O peso de 15 kg da paleta provoca uma certa fadiga muscular. Como tal, a escolha da altura correcta de trabalho, a postura do operador e a forma de segurar a paleta são de extrema importância para o conforto do operador, ainda que a aplicação da força seja apenas durante breves intervalos de tempo, um minuto.

A incorporação de pegas laterais na grade auxilia no transporte e na rotação da mesma, uma vez que se encontram montadas em extremidades opostas da grade, ao longo do eixo do centro de massa. O transporte da paleta deve efectuar-se o mais próximo do corpo possível e junto do centro de massa [38].

Existe a possibilidade de gravar uma marcação no furo (gravação a laser ou pintura) mais à esquerda da paleta e uma numeração próxima dos furos para funcionarem como ajudas visuais. A marcação no furo indica ao operador qual o punção que servirá de referência na paletização e na electroerosão. Permite também ajudar o operador na montagem da paleta no sistema de fixação *zero-point*, visto que a marcação deve localizar-se sempre no lado esquerdo do operador para garantir uma correcta identificação. A implementação de uma numeração poderá permitir uma rápida identificação dos punções no futuro, caso necessário.

A limpeza frequente das limalhas é obrigatória quer para impedir a danificação das peças ou do sistema de fixação quer para evitar acidentes de trabalho.

6

Composição do Sistema de Fixação

6.1 Introdução

O sistema de fixação, representado na figura 6.1, pode ser dividido em três subconjuntos: palete, sistema de fixação *zero-point* e acessórios que engloba componentes de suporte e protecção.

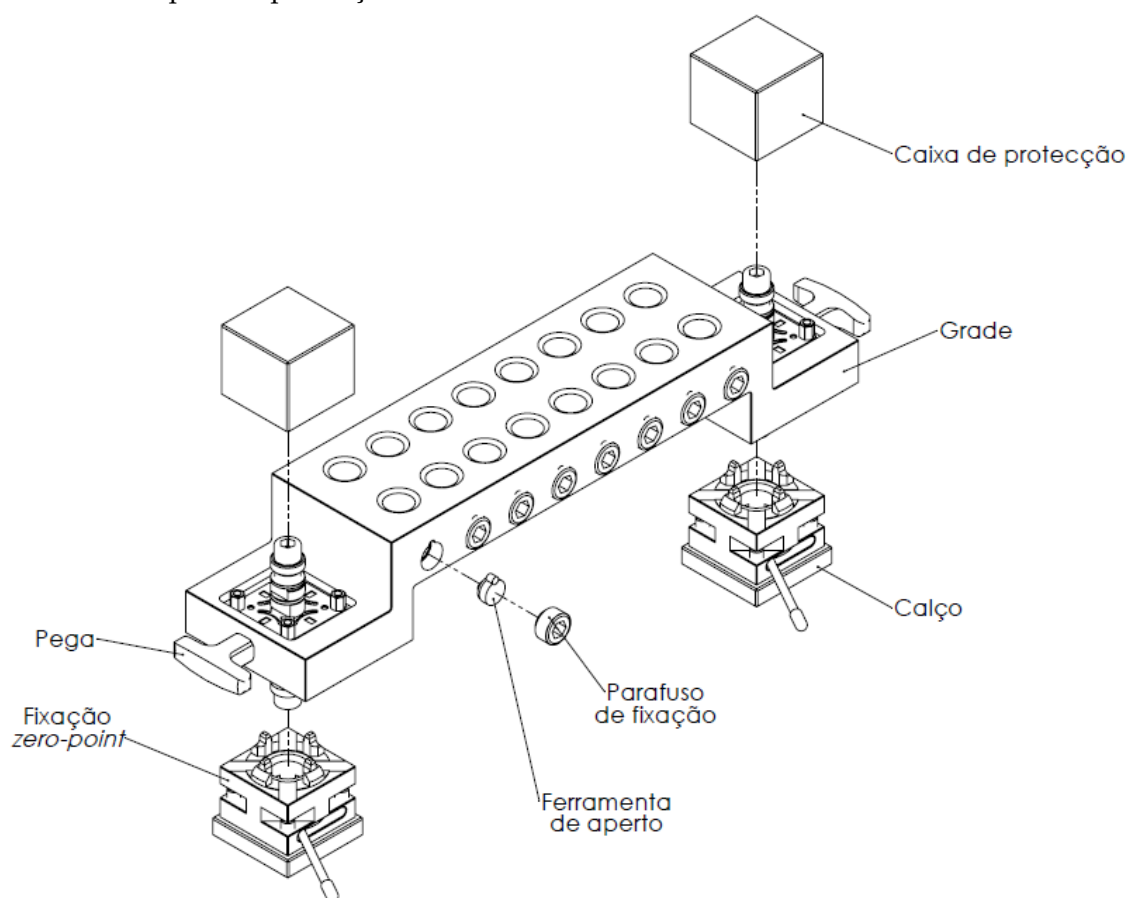


Figura 6.1 – Perspectiva explodida do sistema de fixação projectado

6.2 Paleta

6.2.1 Grade

A grade, representada na figura 6.2, é o corpo principal do sistema de fixação, é responsável por oferecer rigidez durante as operações de fabrico dos punções, em particular na rectificação. Considera-se que é construído em aço C45E (DIN CK45) de média resistência mecânica e tenacidade, com um tratamento por nitruração para aumentar a sua resistência ao desgaste por abrasão.

O módulo de elasticidade do aço C45E é igual a 206GPa , a tensão de cedência σ_{CED} é igual a 530MPa , admitindo um coeficiente de segurança de 2 [39 e 40], tem-se uma tensão admissível:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ced}}{FS} = \frac{530}{2} = 265\text{MPa} \quad (6.1)$$

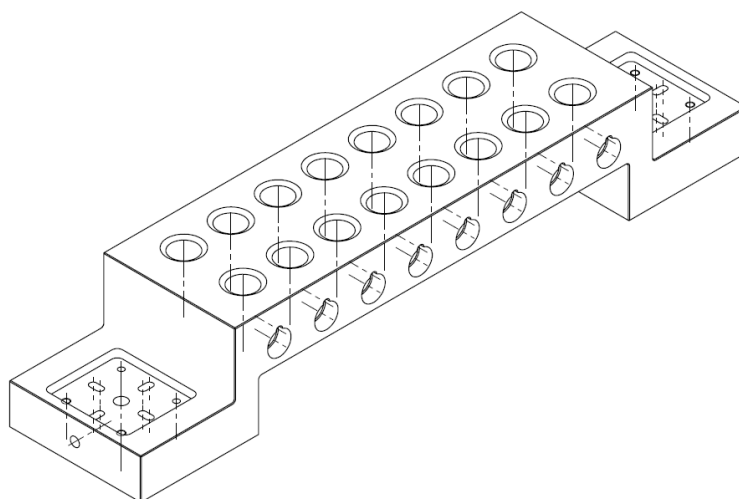


Figura 6.2 – Grade (anexo D)

6.2.1.1 Dimensionamento da grade

O comprimento e a largura da grade dependem da área de trabalho de cada máquina do caso de estudo. A máquina-ferramenta com a menor área de trabalho (mesa magnética da rectificadora) dita as dimensões da paleta, ou seja, funciona como constrangimento. Assim sendo, admitiu-se um comprimento de 451 mm e uma largura de 98 mm. Consequentemente o número de punções que se podem fixar encontra-se condicionado pela dimensão da grade.

Considerou-se uma distância entre-eixos dos espigões de fixação de 382 mm.

O espaçamento constante entre os furos dos punções facilita na programação dos códigos de inspeção da CMM.

A espessura da grade contribui para a rigidez, logo é necessário determinar as forças exercidas durante a rectificação para garantir que a flecha (deslocamento transversal) não compromete o cumprimento da tolerância do comprimento do punção (cota A).

6.2.1.2 Estimativa das forças exercidas durante a rectificação plana

No caso de estudo, a paleta está sujeita a esforços durante as várias operações. Contudo desprezam-se os esforços aplicados nos punções durante a inspecção, electroerosão e polimento, visto que é de admitir que sejam insignificantes dada a sua grandeza.

É necessário ter em consideração os esforços exercidos nas operações de rectificação (ver figura 6.3) para garantir que não ocorre deformação da paleta e os casquilhos fixam os punções para que a qualidade de fabrico destes não seja colocada em causa.

A força total exercida pela mó de rectificação na peça pode ser decomposta na força tangencial de corte (F_t) e na força normal de corte (F_n) [41].

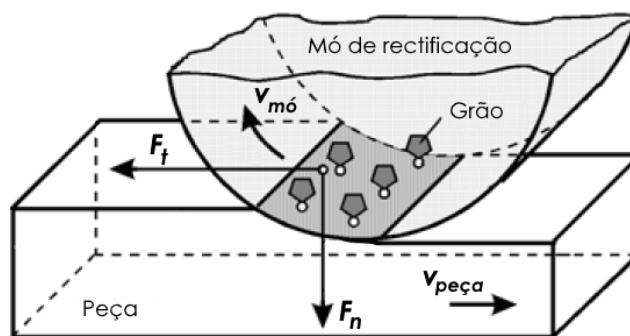


Figura 6.3 – Forças envolvidas na rectificação plana tangencial

Os dados da rectificadora são os seguintes:

Potência da rectificadora $N_{rectificadora} = 4100 \text{ W}$

Rendimento da rectificadora $\eta = 95\%$

Velocidade de rotação da mó $n = 1400\text{RPM}$

Diâmetro da mó $D = 300\text{mm}$

Admitiu-se um rendimento da rectificadora tão elevado, de forma ao dimensionamento estar do lado da segurança e conduz a um sobredimensionamento.

A potência de corte da rectificação tangencial plana N_c está relacionada com a força de corte F_c e com a velocidade da mó $v_{mó}$, como se apresenta na equação (6.2).

$$N_c = F_c \cdot v_{mó} \text{ [W]} \quad (6.2)$$

Sabe-se que a potência de corte útil é igual à potência da rectificadora, tendo em conta o seu rendimento, uma vez que existem perdas de potência:

$$N_c = \eta \cdot N_{rectificadora} \text{ [W]} \quad (6.3)$$

Igualando as expressões (6.2) e (6.3) resulta:

$$F_c \cdot v_{mó} = \eta \cdot N_{rectificadora} \quad (6.4)$$

Resolvendo em relação à força de corte da rectificação F_c vem:

$$F_c = \frac{\eta \cdot N_{rectificadora}}{v_{mó}} \text{ [N]} \quad (6.5)$$

A velocidade tangencial da mó $v_{mó}$ é dada pela equação (6.6):

$$v_{mó} = (n \cdot \pi \cdot D) \cdot \frac{1}{60} \text{ [m/s]} \quad (6.6)$$

$$v_{mó} = 1400 \times \pi \times 0,3 \times \frac{1}{60} \approx 22 \text{ m/s}$$

Logo a força de corte da rectificação é:

$$F_c = \frac{0,95 \times 4100}{22} = 177 \text{ N}$$

A força normal F_n pode ser estimada com base em dados empíricos. A literatura indica que a força normal F_n é 30% maior que a força de corte F_c [42, pág. 730], como se apresenta na equação (6.7):

$$F_n = 1,3 \times F_c \quad (6.7)$$

Logo,

$$F_n = 1,3 \times 177 = 230 \text{ N}$$

Admitindo um factor de segurança igual a 2 [39 e 40], tem-se:

$$F_n = 2 \times 230 \approx 460 \text{ N}$$

Considera-se que a grade está simplesmente apoiada. Na figura 6.4 representa-se uma aproximação do diagrama de corpo livre da paleta durante a operação de rectificação na situação crítica, ou seja, quando a mó se encontra ao centro da grade, provocando uma maior flexão.

R são as reacções nos apoios e L é a distância entre eixos dos espigões de fixação, $L = 382 \text{ mm}$.

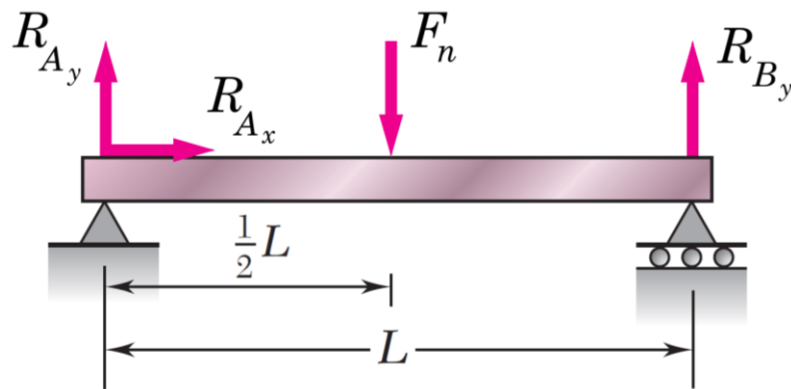


Figura 6.4 – Esforços aplicados na grade durante a rectificação [43] (adaptado)

6.2.1.3 Tensão normal máxima e momento flector máximo

Aplicam-se as equações de equilíbrio, de forma a determinar as reacções nos apoios:

$$\begin{cases} \sum F = 0 \\ \sum M = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_x = 0 \\ F_y = 0 \\ M = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_{Ax} = 0 \\ R_{Ay} + R_{By} - P = 0 \\ -\left(\frac{L}{2} \times P\right) + L \times R_{By} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_{Ax} = 0 \text{ N} \\ R_{Ay} = 230 \text{ N} \\ R_{By} = 230 \text{ N} \end{cases}$$

Utilizam-se as equações de equilíbrio para determinar os esforços internos a uma distância x do ponto A, considerando a parte da viga à esquerda da secção central para construir os diagramas de esforço transverso e momento flector, como se apresenta na figura 6.5

Verifica-se que a tensão normal máxima ocorre no centro da viga, visto que o maior valor de M é nessa secção.

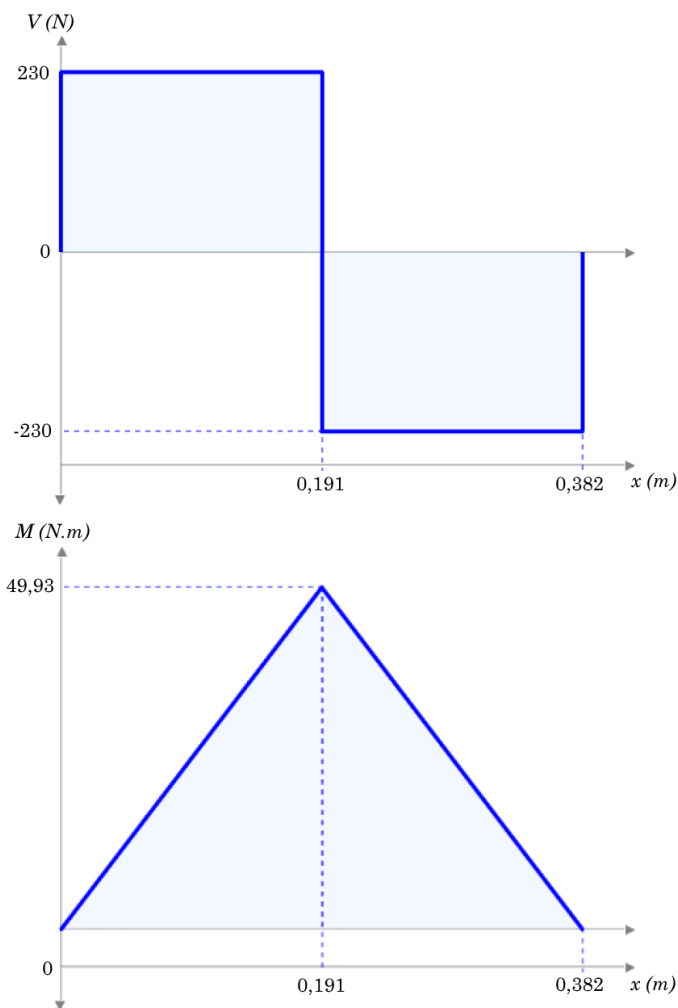


Figura 6.5 – Diagrama de esforço transversal e momento flector

O módulo de resistência à flexão da secção rectangular obtém-se através da equação (6.8) [43].

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (6.8)$$

Para o cálculo do módulo de resistência considera-se a secção resistente da grade, ou seja, a secção central entre as duas filas de furos, que tem 25 mm de largura b e 40 mm de altura h (admitido por questões de design e funcionalidade do projecto), pelo que o módulo de resistência é de $6,67 \times 10^{-6} \text{ m}^3$.

A tensão normal máxima numa viga pode ser expresso como:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{W} \quad (6.9)$$

Substituindo o valor do módulo da resistência à flexão na equação (6.9), obtém-se uma tensão normal máxima de 13,6 MPa que é bastante inferior à tensão admissível do material (265 MPa).

6.2.1.4 Deslocamento transversal

A partir do Anexo F [43], sabe-se que a flecha máxima para uma viga bi-apoiada com uma carga aplicada ao centro é dada pela equação (6.10). O sinal negativo refere-se a um deslocamento no sentido negativo do eixo y.

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (6.10)$$

A secção transversal da grade tem uma geometria rectangular como se apresenta na figura 6.6.

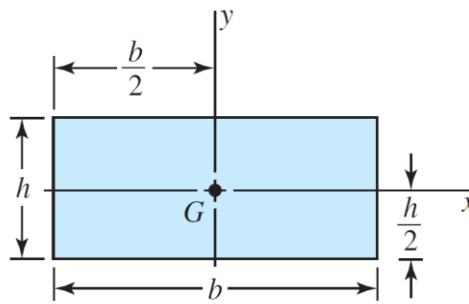


Figura 6.6 – Secção transversal rectangular [44]

O momento de inércia, ou momento de segunda ordem, em relação ao eixo que passa pelo centróide da secção transversal rectangular é dado pela equação (6.11) [44]:

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (6.11)$$

Sendo assim, o momento de inércia em relação ao eixo x é $1,33 \times 10^{-7} \text{ m}^4$, portanto a flecha máxima $y_{m\acute{a}x}$ na paleta durante a rectificação é 0,02 mm.

Em comparação com a tolerância de 0,03 do comprimento total do punção (cota A) - Anexo A - é possível afirmar que a grade se mantém rígida o suficiente para garantir a qualidade de fabrico dos punções.

6.2.2 Ferramenta de aperto

A montagem do punção no furo da paleta realiza-se manualmente, existindo folga entre os dois componentes. Considera-se um ajustamento deslizante justo (*close running fit*) [44] para garantir que o corpo do punção não se risca.

$$\text{Furo da paleta: } 19_{+0}^{+0,05} \text{ mm} = \begin{cases} 19,05 \text{ mm} \\ 19 \text{ mm} \end{cases} \quad (6.12)$$

$$\text{Punção: } 19_{-0,018}^{-0,010} \text{ mm} = \begin{cases} 18,99 \text{ mm} \\ 18,982 \text{ mm} \end{cases} \quad (6.13)$$

Verifica-se uma folga máxima $f_{m\acute{a}x}=0,068 \text{ mm}$ e uma folga mínima $f_{m\acute{a}x}=0,01 \text{ mm}$.

Como tal, a montagem por si são não garante a fixação do punção, logo e necessário restringir o movimento axial do mesmo.

A ferramenta para apertar os punoes na paleta e constituída por um calço de aperto, uma cavilha, uma anilha de mola M8 e um perno sextavado interior M20 de classe 8.8, como se representa na figura 6.7.

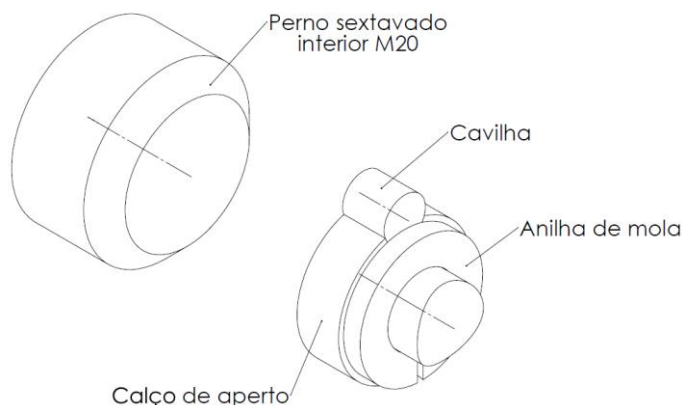


Figura 6.7 – Seo transversal rectangular

O calço de aperto e uma peça em bronze CuSn 12 (2.1052) com uma $\sigma_{ced}=140 \text{ MPa}$, fabricado por corte por arranque de apara, cuja função e fixar o corpo de cada punção através do aperto do perno. A anilha de mola garante que o calço de aperto recua para o interior da paleta, garantindo que o furo vertical está sempre desimpedido para montar o punção.

Na figura 6.8 ilustram-se as duas posioes da ferramenta de aperto. A posição de aperto do punção quando o perno pressiona o calço de aperto contra o punção, comprimindo a anilha de mola. E a posição de alivio do punção em que o perno e aliviado, permitindo a anilha de mola deslocar o calço de aperto no sentido oposto ao punção. A cavilha permite guiar o calço de aperto, evitando que este rode. Chamada de atenção para a mola representada em ambas as posioes que se encontra no estado totalmente comprimida. A cavilha encontra-se montada com aperto no calço de (H7/m6) e entre a grade e a cavilha existe uma ajustamento deslizante (F7/m6).

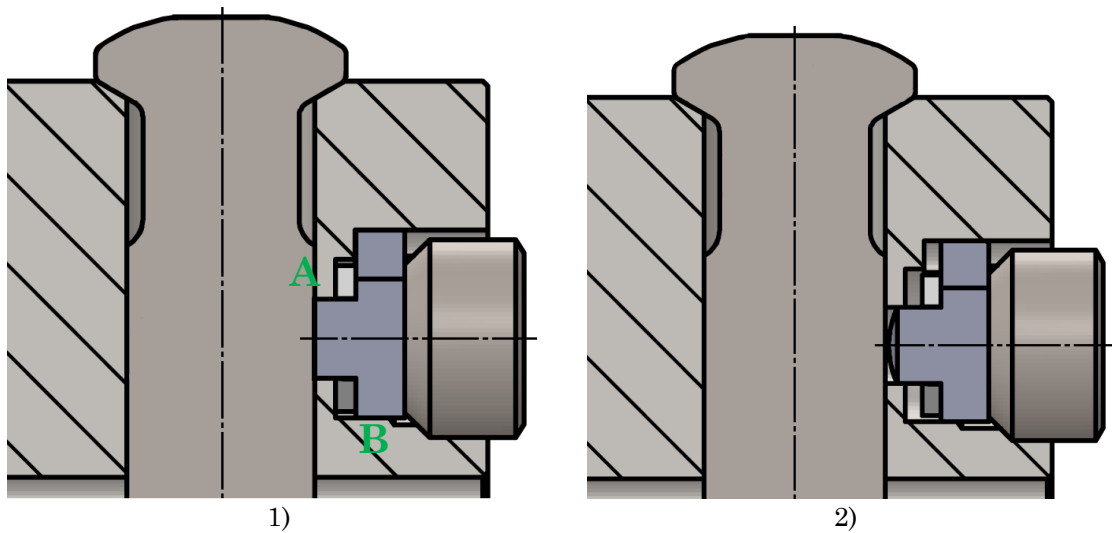


Figura 6.8 – Posições da ferramenta de aperto:

1) Posição de aperto;

2) Posição de alívio.

Da figura 6.8, o ajustamento A de $\phi 8$ é deslizante justo (H7/h6) e o ajustamento B de $\phi 16$ é rotativo (H9/d9).

Na fabricação do calço de aperto, deve-se introduzi-lo completamente no furo lateral da grade e maquinar-se o raio da superfície de aperto do calço juntamente com o furo vertical da grade. Isto certifica que se obtém o raio desejado para o calço de aperto, ou seja, um raio de $9,50_{-0,03}^{-0,01} \text{ mm}$. O punção tem $19_{-0,018}^{-0,010} \text{ mm}$, logo o raio da superfície de aperto do calço será sempre igual ou inferior raio do punção, garantindo o aperto, em pelo menos, dois pontos de contacto.

A interface entre o calço de aperto e o punção encontra-se pormenorizado na figura 6.9, de uma forma exagerada para ilustrar os dois pontos de contacto entre as peças.

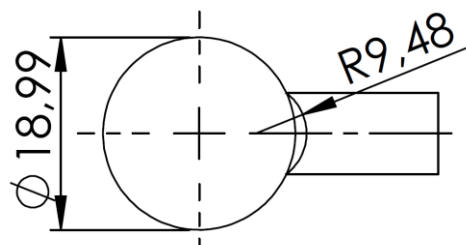


Figura 6.9 – Pormenor do contacto entre o calço de aperto e o punção
(não se encontra à escala)

6.2.2.1 Dimensionamento do parafuso e momento de aperto necessário

Para fixar os punções no interior dos furos da paleta, é necessário aplicar uma força de aperto. Esta força N é aplicada no sentido normal ao corpo do punção, que devido à interface aço-bronze entre punção e o calço de aperto, origina uma força de atrito F_a perpendicular, uma força de fixação axial.

Na figura 6.10 identificam-se as forças envolvidas no aperto do punção com recurso ao calço de aperto.

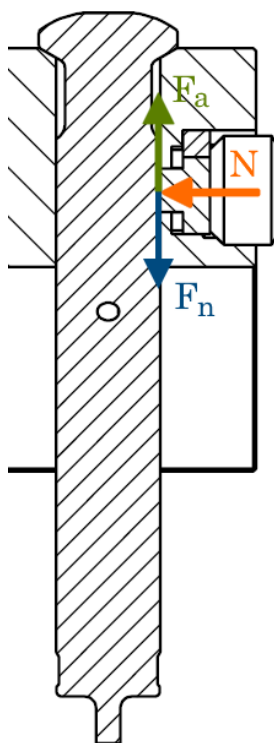


Figura 6.10 – Forças envolvidas no aperto do punção

A força de atrito F_a tem de ser igual à força vertical aplicada no punção F_n para que este permaneça imóvel:

$$F_a = F_n = 460 \text{ N} \quad (6.14)$$

Logo:

$$N \cdot \mu = F_n \quad (6.15)$$

Admite-se um coeficiente de atrito $\mu = 0,19$ para uma interface aço-bronze e um coeficiente relativo a parafusos e porcas $c = 0,18$ [40, pág. 179] de rosca métrica, tratando-se de uma montagem ligeiramente lubrificada, uma vez que na operação de electroerosão a paleta encontra-se imersa em fluido dielétrico.

A partir da equação (6.16) é possível calcular a força normal ao punção, ou seja, a força de aperto, que depende do factor de atrito estático.

$$N = \frac{F_n}{\mu} \quad (6.16)$$

A força normal ao corpo do punção necessária para o fixar é de $2421 N$.

A relação entre a força de aperto e o momento de aperto pode ser feita por meio da equação (6.17):

$$T = c \cdot F_i \cdot d \quad (6.17)$$

Escolheu-se um perno sextavado interior M20 por questões de *design* e funcionalidade.

Obtém-se um momento de aperto necessário no perno de $8,7 N \cdot m$, que é bastante inferior ao momento máximo de aperto para um perno M20, $T_{máx} = 441 N \cdot m$ (Anexo G).

6.2.3 Pega

O palete tem uma pega (figura 6.11) resistente a solventes, óleos, gordura, entre outros agentes químicos. É feita de um tecnopolímero à base de poliamida reforçada com fibra de vidro do fabricante elesa-GANTER, cuja referência é L.652/55 B-M8-C9. A pega resiste a uma força vertical até 3300 N.



Figura 6.11 – Pega da elesa+GANTER (L.652/55 B-M8-C9)

6.3 Sistema de fixação zero-point

Aplicando a metodologia desenvolvida no capítulo 4 da presente dissertação para o caso de estudo, seleccionou-se (ver figura 6.12 e figura 6.13) o sistema de fixação ITS (*Integrated Tooling System*) com a base *QuickChuck* 50 da EROWA (figura 6.14) e o respectivo espigão de fixação (*drawbar*) para integrar o sistema de sujeição do caso de estudo.

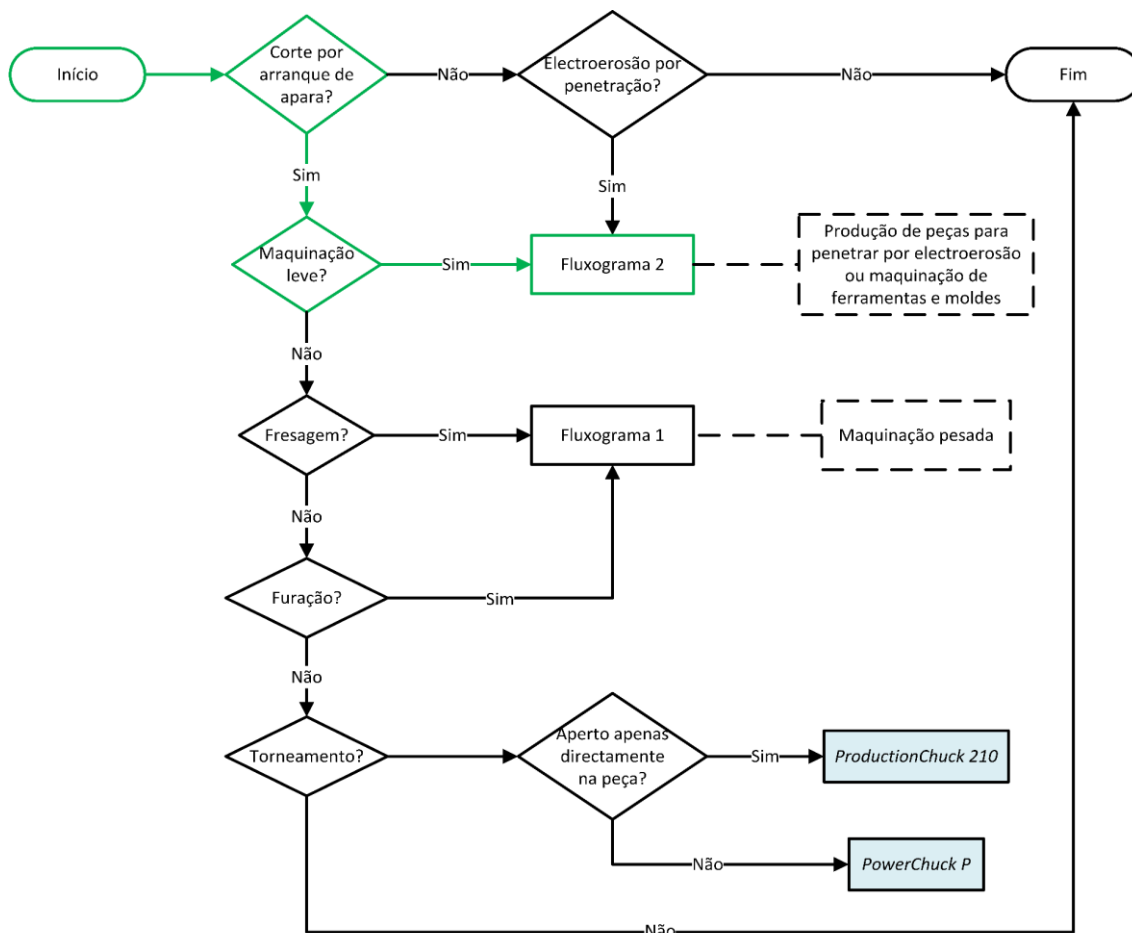


Figura 6.12 – Escolha do sistema zero-point para o caso de estudo, utilizando o fluxograma 0

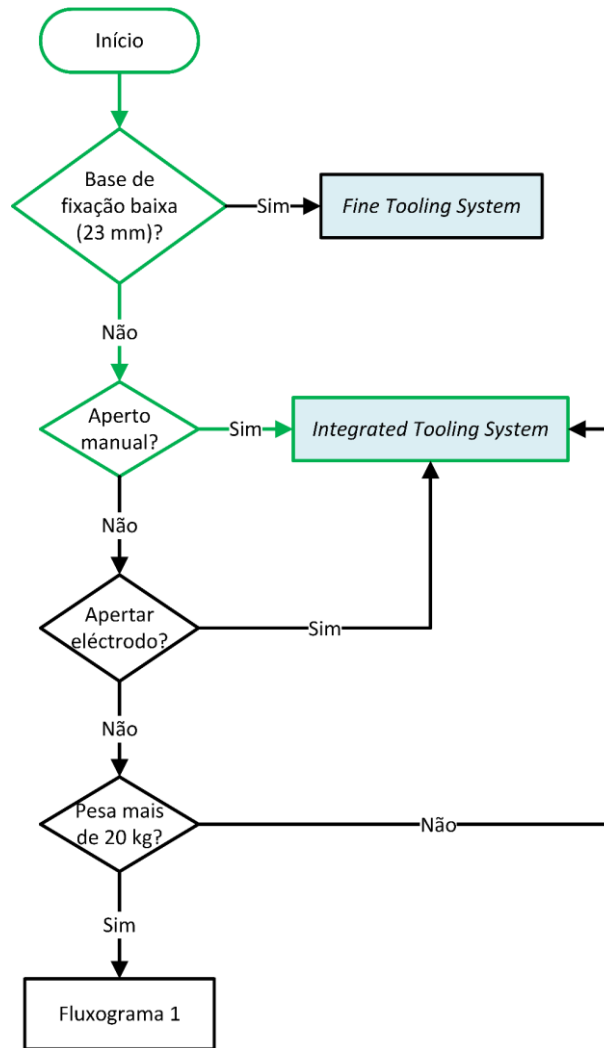


Figura 6.13 – Escolha do sistema zero-point para o caso de estudo, utilizando o fluxograma 2



Figura 6.14 – Base QuickChuck 50 da EROWA com aperto manual

A principal razão para a escolha deste sistema é a base *QuickChuck* 50 funcionar com aperto manual, o que o torna mais versátil e independente de ferramentas, circuitos hidráulicos e circuitos pneumáticos.

As suas dimensões reduzidas ($55,6 \times 55,6 \times 36 \text{ mm}^3$) garantem um melhor aproveitamento da área de trabalho, como se apresenta na figura 6.15. Manifestamente, a força de aperto do espigão de fixação e, conseqüentemente, da paleta é superior às forças exercidas durante as operações de maquinação dos punções do caso de estudo.

Os componentes para sistema de fixação *zero-point* da paleta são os seguintes:

- 2 x base ITS 50 (ref. ER-034387)
- 4x chapa de centragem (ref. ER-036751)
- 4 x espigão de fixação (ref. ER-007980)

Características da base ITS 50:

Material: Aço inoxidável

Repetibilidade: 2 μm

Posicionamento/indexação: 4 x 90°

Dimensões: 55,6 x 55,6 x 36 mm

Força de aperto = 4.000 N (quando se aplica um força de 195 N com um braço de 74 mm, como se ilustra na figura 6.16)

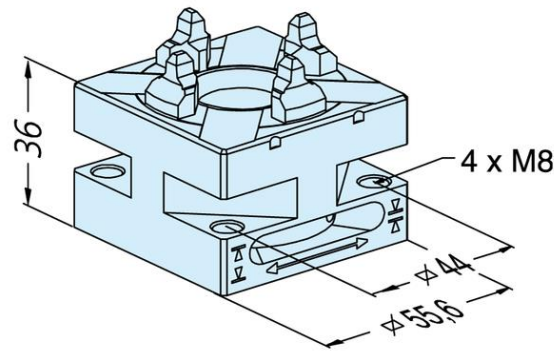


Figura 6.15 – Base ITS 50 [24]

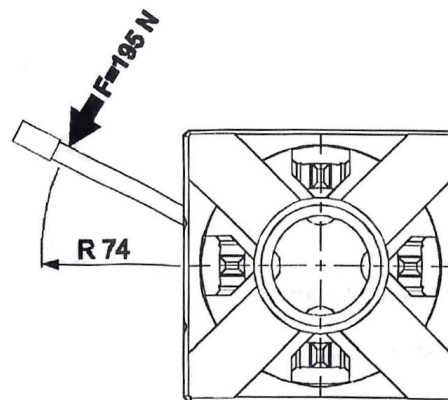


Figura 6.16 – Força de aperto manual [23] (adaptado)

Durante o processo de fabrico de um lote, cada base de fixação está sujeita a 2 ciclos de aperto na rectificadora (rectificação da cabeça, rectificação da ponteira), 8 ciclos de aperto na máquina de medição por coordenadas (medição dos centros, medição de 6 eléctrodos, medição das alturas) e 1 ciclo de aperto na máquina de electroerosão. Um ciclo de aperto corresponde ao aperto e desaperto da base ITS 50.

Sabe-se que cada base tem um tempo de vida de pelo menos 500.000 ciclos de aperto e que o número de obras de punções do tipo B por ano é 182, admitindo que em cada obra a paleta tem 48 jogos de punções (superiores e inferiores), um total de 96 punções.

Para realizar um obra de 48 jogos de punções é necessário realizar 6 ciclos de aperto em cada base. Na rectificação cada base efectua $6 \times 2 = 12$ ciclos de aperto por obra. Considerando que num ano se produzem 182 obras, sabe-se que cada base efectua $182 \times 12 = 2184$ ciclos de aperto por ano. Visto que cada base tem um tempo de vida de pelo menos 500.000 ciclos de aperto, as bases rectificação têm um tempo de vida de aproximadamente $\frac{500.000}{2184} \approx 228$ anos.

Analogamente, determina-se o tempo de vida das bases da máquina de medição por coordenadas e da máquina de electroerosão, como se apresenta na tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Tempo de vida estimado das bases ITS 50

	Nº de ciclos/obra	Nº de ciclos/ano	Tempo de vida [anos]
Rectificação	12	2184	228 anos e 11 meses
CMM	48	8736	57 anos e 2 meses
EDM	6	1092	457 anos e 10 meses

Verifica-se que as bases da máquina de medição por coordenadas são as mais solicitadas, logo têm um tempo de vida estimado inferior às bases das outras máquinas.

6.4 Acessórios

Neste subcapítulo apresentam-se os componentes complementares do sistema de fixação, ou seja, que não desempenham uma função principal no aperto dos punções.

6.4.1 Calço

O calço é uma base rectificada em aço C45E (DIN CK45) com duas funções:

- Garantir a cota Z (altura dos punções): durante a rectificação da cabeça os punções ficam suspensos e nas restantes operações os punções ficam assentes pela cabeça na base das máquinas-ferramenta;
- Fixar a base *zero-point* da EROWA através de uma ligação aparafusada.

Existem dois modelos do calço (ver figura 6.17):

- Modelo A: fixação à mesa magnética durante a rectificação (ver);
- Modelo B: fixação à mesa de trabalho nas restantes operações (ver).

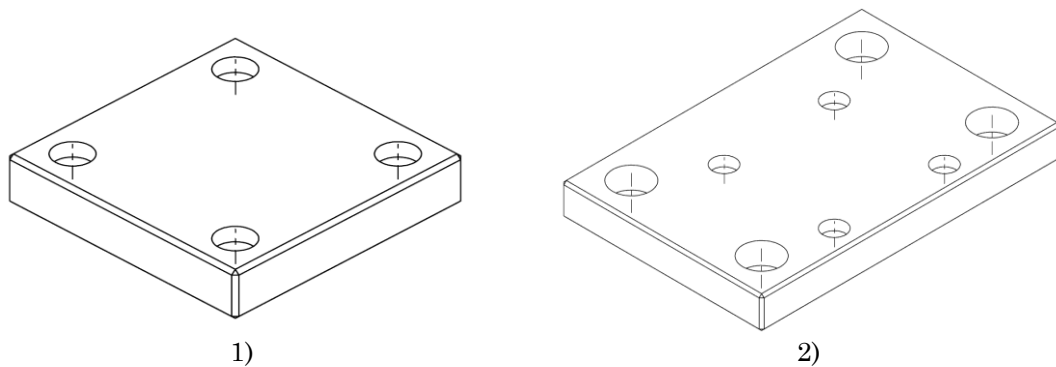


Figura 6.17 – Calço (anexo D):

1) Modelo A

2) Modelo B

6.4.2 Caixa de protecção

A caixa de protecção (figura 6.18) é um paralelepípedo em *nylon*, fabricado por corte por arranque de apara, cuja função é proteger e resguardar individualmente os espigões de fixação e superfícies de localização do sistema *zero-point* que se encontram na face superior da grade.

A montagem é feita no topo da grade através de um ajustamento deslizante justo ($H7/h6$) a respectiva cavidade. Este ajustamento permite uma montagem com aperto, mas à mão. Enquanto que o furo central da caixa e o espigão de fixação tem um ajustamento rotativo justo e os restantes furos têm folga.

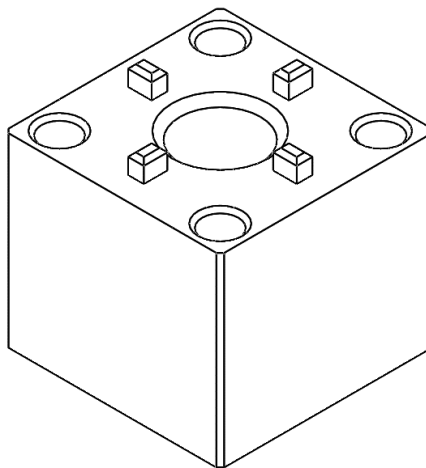


Figura 6.18 – Caixa de protecção (anexo D)

7

Análises de Tempos

7.1 Introdução

Em qualquer projecto o aspecto funcional é o factor mais importante na escolha da solução final, porém há que ter em consideração o seu custo de fabrico, uma vez que acaba por ser um factor eliminatório caso os custos sejam demasiado elevados.

De forma a reduzir os custos de fabrico é fundamental o projecto ter o menor número de componentes possível, ser simples, ter preferência por componentes *standard*, não utilizar tolerâncias demasiado apertadas e reduzir ou eliminar operações de maquinaria desnecessárias, como por exemplo restringir operações de rectificação apenas a superfícies funcionais.

Para avaliar correctamente o investimento é necessário relacionar o custo de fabrico com o tempo de *setup* que se consegue reduzir, tendo em consideração que a qualidade de produção se mantém.

O tempo de *setup* é a soma de todas as actividades que não acrescentam valor, ou seja, é o tempo total da operação menos o tempo de maquinaria.

A eficiência de uma operação é o quociente entre o tempo das operações de valor acrescentado e o tempo total de uma operação, que é dado pela equação (7.1).

$$\text{Eficiência da operação} = \frac{t_{\text{valor acrescentado}}}{t_{\text{total}}} \times 100\% \quad (7.1)$$

7.2 Tempos das actividades do caso de estudo na situação *As-Is*

Mediram-se e registaram-se os tempos das várias actividades das operações de fabrico e inspecção do caso de estudo na situação *As-Is* (como o processo é hoje). Nas tabela 7.1 à tabela 7.6 apresentam-se as actividades e respectivos tempos das operações de fabrico do caso de estudo nessa situação.

Tabela 7.1 – Tempo das actividades da rectificação da cabeça de um punção

Actividade	Tempo [s/punção]
Colocar o casquilho	3
Aperto na bucha	4
Maquinação	35
Desaperto	4
Retirar o casquilho	3
Total	49

Tempo de setup/punção = 14 s

Eficiência da operação = $\frac{35}{49} \times 100\% = 71,4\%$

Tabela 7.2 – Tempo das actividades da rectificação da ponteira de 8 punções

Operação	Tempo [s]
Montagem	60
Aperto dos parafusos	20
Ajuste	6
Maquinação	220
Desmontagem de 1 punção	10
Verificação da altura	6
Montagem de 1 punção	15
Desaperto dos parafusos	15
Limpeza da mesa magnética	3
Desmontagem	15
Total	370

Tempo de setup = 150 s = 2 min. 30 s

Tempo de setup/punção = 19 s

Eficiência da operação = $\frac{220}{370} \times 100\% = 59,5\%$

Tabela 7.3 – Tempo das actividades da remoção das rebarbas

Operação	Tempo [s/punção]
Posicionar o punção	3
Maquinação	4
Inspeção	3
Guardar o punção	2
Total	12

Tempo de setup/punção = 8 s

Eficiência da operação = $\frac{4}{12} \times 100\% = 33,3\%$

Tabela 7.4 – Tempo das actividades da electroerosão de 14 punções

Operação	Tempo [s]	Tempo [s/punção]
Montagem dos punções	56	
Aperto dos parafusos	30	
Fixação na máquina	16	
Desaperto dos parafusos	35	
Alinhamento (excepto os redondos)	1028	
Marcação do punção de referência	10	
Preparação do programa	40	
Montagem do centrador	10	
Centragem da ponteira dos punções	840	60
Centragem dos eléctrodos em relação ao punção de referência	770	55
Ajuste do programa	120	
Maquinação	69720 (19h22min.)	1h23min.
Desaperto dos parafusos	20	
Desmontagem	30	
Total	50(20h12min.)	

Tempo de setup = 3005 s \approx 50 min.

Tempo de setup/punção \approx 215 s = 3 min. 35 s

Eficiência da operação = $\frac{69720}{72725} \times 100\% = 95,9\%$

Tabela 7.5 – Tempo das actividades da inspecção

Operação	Tempo [s/punção]
Calibração do comparador	12
Montagem	3
Medição da cota B	6
Registo da medição	1
Desmontagem	3
Montagem	3
Medição da profundidade da cavidade da ponteira	12
Registo da medição	1
Desmontagem	3
Total	44

Tempo de setup/punção = 26 s

Eficiência da operação = $\frac{6+12}{44} \times 100\% = 40,9\%$

Tabela 7.6 – Tempo das actividades do polimento de 5 punções

Operação	Tempo [s]
Montagem	20
Aperto dos punções	2
Polimento	148
Desaperto dos punções	2
Desmontagem	20
Total	192

Tempo de setup = 44 s

Tempo de setup/punção \approx 9 s

$$\text{Eficiência da operação} = \frac{148}{192} \times 100\% = 77,1\%$$

7.3 Tempos das actividades do caso de estudo na situação *To-Be*

Por comparação com o caso de estudo, estimam-se que os tempos das actividades das operações na situação *To-Be* (o processo no futuro após as melhorias), sejam os seguintes, apresentados nas tabela 7.7 a tabela 7.14:

Tabela 7.7 – Tempo das actividades da rectificação da cabeça de 16 punções

Actividade	Tempo [s]	Tempo [s/punção]
Montar a palete	15	
Colocar os punções	80	5
Aperto dos parafusos	96	6
Maquinação	210	
Total	401	

$$\text{Tempo de setup} = 191 \text{ s} \approx 3\text{min. } 10 \text{ s}$$

$$\text{Tempo de setup/punção} \approx 12 \text{ s}$$

$$\text{Eficiência da operação} = \frac{210}{401} \times 100\% = 52,4\%$$

Tabela 7.8 – Tempo das actividades da rectificação da ponteira de 16 punções

Actividade	Tempo [s]	Tempo [s/punção]
Desmontar a palete	10	
Limpar a mesa magnética	10	
Virar e montar a palete	15	
Maquinação	270	
Desmontar a palete	15	
Total	320	

$$\text{Tempo de setup} = 50 \text{ s}$$

$$\text{Tempo de setup/punção} \approx 3 \text{ s}$$

$$\text{Eficiência da operação} = \frac{270}{320} \times 100\% = 84,4\%$$

Tabela 7.9 – Tempo das actividades de remoção das rebarbas de 16 punções

Actividade	Tempo [s]	Tempo [s/punção]
Montar a palete	5	
Maquinação	128	8
Desmontar a palete	5	
Total	138	

Tempo de setup = 10 s

Tempo de setup/punção \approx 1 s

$$\text{Eficiência da operação} = \frac{128}{138} \times 100\% = 92,8\%$$

Os tempos de calibração do sistema de coordenadas do eléctrodo e do sistema de coordenadas da palete não são apresentados, porque não são relevantes, as calibrações apenas se realizam ocasionalmente.

Tabela 7.10 – Tempo das actividades de centragem de um eléctrodo

Actividade	Tempo [s/eléctrodo]
Montar eléctrodo	9
Iniciar programa de medição	22
Décalage/Centragem	43
Trocar eléctrodo	10
Total	84

Tempo de setup/eléctrodo = 41 s

$$\text{Eficiência da operação} = \frac{43}{84} \times 100\% = 51,2\%$$

Tabela 7.11 – Tempo das actividades de centragem de 16 punções

Actividade	Tempo [s]	Tempo [s/punção]
Montar palete	20	
Iniciar programa de medição	19	
Décalage/Centragem	384	24
Desmontar palete	20	
Pós-processamento	120	
Total	563	

Tempo de setup = 179 s \approx 3 min.

Tempo de setup/punção \approx 11 s

Eficiência da operação = $\frac{352}{563} \times 100\% = 68,2\%$

Tabela 7.12 – Tempo das actividades de electroerosão de 16 punções

Actividade	Tempo [s]	Tempo [s/punção]
Montar a palete	15	
Montar os eléctrodos	35	5
Ajustar o programa	180	
Maquinação	79680 (22h8min)	1h23min
Desmontagem	15	
Total	15 (22h12min)	

Tempo de setup = 245 s = 4 min. 5 s

Tempo de setup/punção \approx 16 s

Eficiência da operação = $\frac{79680}{79925} \times 100\% = 99,7\%$

Tabela 7.13 – Tempo das actividades da inspecção de 16 punções

Actividade	Tempo [s]	Tempo [s/punção]
Montar a palete	20	
Iniciar programa de medição	19	
Inspeção	720	45
Impressão do relatório	10	
Desmontagem	20	
Total	789	

Tempo de setup = 69 s

Tempo de setup/punção \approx 5 s

Eficiência da operação = $\frac{720}{789} \times 100\% = 91,3\%$

Tabela 7.14 – Tempo das actividades de polimento de 16 punções

Actividade	Tempo [s]	Tempo [s/punção]
Montar a palete	10	
Maquinação	480	30
Desmontar a palete	10	
Total	500	

Tempo de setup = 20 s

Tempo de setup/punção \approx 2 s

Eficiência da operação = $\frac{480}{500} \times 100\% = 96,0\%$

7.4 Comparação de tempos

Nas tabelas 7.15 e 7.16 sintetizam-se os tempos de *setup* e valor acrescentado por punção nas situações *As-Is* e *To-Be*. Na tabela 7.17 encontra-se uma comparação desses tempos em ambas as situações e um balanço do tempo de produção total por punção.

A electroerosão de 16 punções requer 1 eléctrodo de desbaste por lote e 1 eléctrodo de acabamento por cada 3 punções, o que perfaz um total de 7 eléctrodos. Logo

o tempo de *setup* por punção da paletização é de $29 s = \left(\frac{41 s \times 7 \text{ eléctrodos}}{16 \text{ punções}} + 11 s \right)$ e

o tempo da paletização por punção é de $110 s = (43 s \times 2 \text{ eléctrodos} + 24 s)$.

Tabela 7.15 – Tempos de *setup* e valor acrescentado por punção do caso de estudo *As-Is*

Operações	Tempo <i>setup</i> [s/punção]	Tempo valor acrescentado [s/punção]
Rectificação da cabeça	14	35
Rectificação da ponteira	19	28
Remoção de rebarbas	8	4
Electroerosão	215	4980
Inspeção	26	18
Polimento	9	30
Total	291	5095

Tabela 7.16 – Tempos de *setup* e valor acrescentado por punção do caso de estudo *To-Be*

Operações	Tempo <i>setup</i> [s/punção]	Tempo valor acrescentado [s/punção]
Rectificação da cabeça	12	14
Rectificação da ponteira	3	17
Remoção de rebarbas	1	8
Paletização	29	110
Electroerosão	16	4980
Inspeção	5	45
Polimento	2	30
Total	68	5204

Tabela 7.17 – Comparação dos tempos de *setup* e valor acrescentado nas situações *As-Is* e *To-Be*

	<i>As-Is</i>	<i>To-Be</i>	ΔT	ΔT [%]
Tempo <i>setup</i> [s/punção]	291	68	-223	-76,6%
Tempo de valor acrescentado [s/punção]	5095	5204	+109	+2,1%
Tempo de produção (total) [s/punção]	5386	5272	-114	-2,0%

O que resulta num balanço de -114 segundos (-2,0%), que corresponde a uma redução de 1 minuto e 54 segundos no tempo de fabrico de um punção. Para a paleta de 16 punções traduz-se numa redução de 30 minutos e 24 segundos.

Com base na figura 7.1 verifica-se uma diminuição do tempo de *setup* por punção na situação *To-Be* em comparação com a situação *As-Is* do caso de estudo.

Comparação dos tempos de *setup*/punção e maquinação/punção nas situações *As-Is* e *To-Be* do caso de estudo

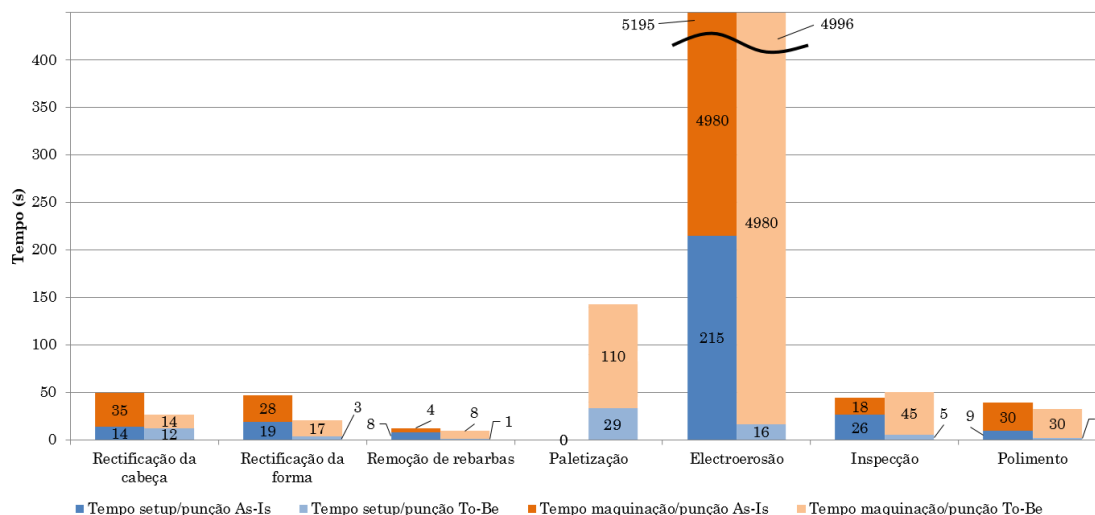


Figura 7.1 – Comparação dos tempos de *setup*/punção e maquinação/punção nas situações *As-Is* e *To-Be* do caso de estudo

Esta análise permitiu identificar que a operação de electroerosão é considerada uma operação de estrangulamento, ou seja, o seu tempo de produção é bastante superior em comparação com as operações de rectificação da cabeça, rectificação da ponteira e remoção da rebarba (é 96,4% do tempo total de produção de uma paleta do início ao fim), pelo que se acumula um *stock* de punções ao qual a operação de electroerosão não consegue dar resposta, impedindo o avanço do processo (ver figura 7.2). Como tal, a implementação da paleta projectada tem um melhor aproveitamento se for utilizada na operação de medição de centros (paletização) na CMM e nas máquinas de electroerosão, uma vez que se for utilizada em todas as operações do caso de estudo irá provocar uma sobreprodução dos punções nas operações de rectificação e remoção de rebarbas.

Sabe-se que actualmente podem ser produzidos 126 punções (3 sistemas de fixação de 14 punções por cada 3 máquinas de EDM) e com o projecto apresentado será possível produzir 144 punções (3 sistemas de fixação de 16 punções por cada 3 máquinas de EDM).

Na tabela 7.18 encontra-se uma comparação do tempo de produção da cavidade da ponteira dos punções (centragem da ponteira e electroerosão) nas situações *As-Is*

e *To-Be*, onde os 109 s do tempo de *setup* da situação *To-Be* engloba o tempo de paletização e o tempo de *setup* na máquina EDM.

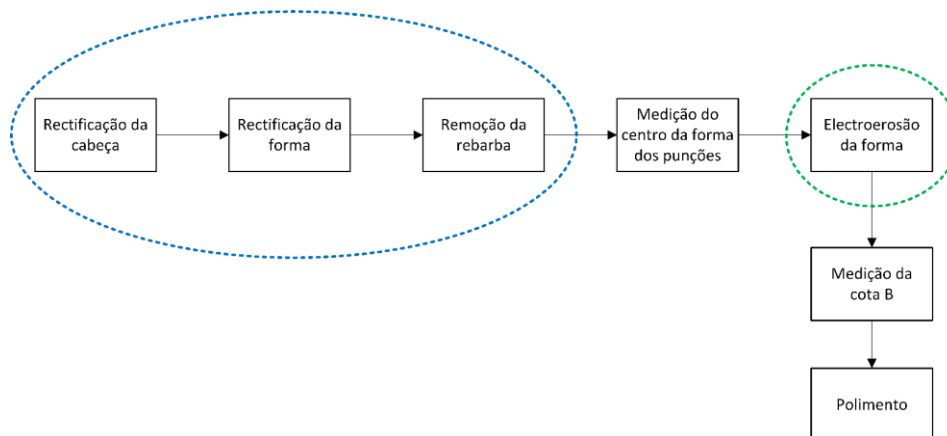


Figura 7.2 – Identificação das operações de sobreprodução (azul) e estrangulamento (verde)

Tabela 7.18 – Comparação do tempo de produção da cavidade da ponteira dos punções (centragem + EDM) nas situações *As-Is* e *To-Be*

	<i>As-Is</i>	<i>To-Be</i>
Tempo setup	7h 32min. (126 punções x 215 s/punção)	1h 48min. (144 punções x 45 s/punção)
Tempo de valor acrescentado	19h 22min. (14 punções x 1h23m/punção)	22h 8min. (16 punções x 1h23m/punção)
Tempo de produção (total)	27h 54min.	23h 56min.

O que corresponde a um tempo de produção de 13,3 min/punção $\left(\frac{27h\ 54m}{126}\right)$ na situação *As-Is* e a 10,0 min/punção $\left(\frac{23h\ 56m}{144}\right)$ na situação *To-Be*.

Deste modo, verifica-se uma diminuição de 24,8% $\left(\frac{13,3-10,0}{13,3} \times 100\%\right)$ no tempo de fabrico por punção na operação de electroerosão (com paletização) ao utilizar-se a paleta projectada e adiciona-se a operação de medição de centros na CMM, o que liberta trabalho das máquinas de electroerosão que têm um custo de produção elevado e diminui o tempo de *setup*.

Comparando a situação *As-Is* e *To-Be* apenas na operação de electroerosão (sem o tempo de *setup*/punção=29s da paletização), verifica-se uma diminuição de 28,6% no tempo de fabrico por punção na operação de electroerosão ao utilizar-se a paleta projectada. Uma vez que o tempo de *setup* na situação *To-Be* seria de 38 min., logo o tempo total de produção seria 22h 46 min e o tempo de produção 9,5 min/punção.

8

Ensaio Realizados

Simultaneamente com o dimensionamento do sistema de fixação, realizaram-se ensaios de paletização e electroerosão com o objectivo de testar e validar o projecto.

8.1 Ensaio de paletização

Fabricaram-se duas grades simples em aço C45E nas quais se montaram os sistemas *zero-point* da EROWA seleccionados no projecto da presente dissertação, como se representa na figura 8.1. O aperto dos punções é feito lateralmente através de simples de pernos de fixação.

A obra que se utilizou neste ensaio é constituída por 48 punções superiores redondos do tipo B com a gravação do número “6” na cavidade da ponteira.

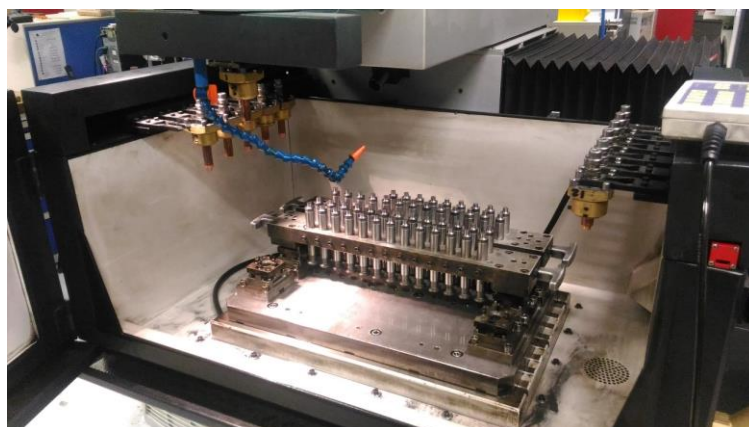


Figura 8.1 – Montagem das paletes na electroerosão

O ensaio consiste em medir individualmente o centro dos eléctrodos (ver figura 8.2) e os centros dos punções montados na paleta (ver figura 8.3), transferir as medições para a máquina de electroerosão e erodir a ponteira dos punções. E, posteriormente, inspeccionar a cota B e a profundidade da cavidade da ponteira.

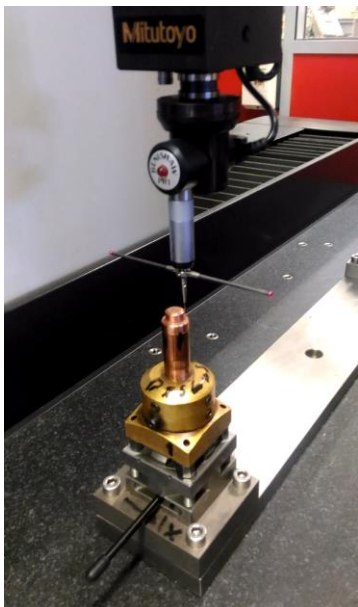


Figura 8.2 – Centragem do eléctrodo



Figura 8.3 – Centragem dos punções

O objectivo deste ensaio é verificar se os punções se encontram dentro das tolerâncias especificadas após a electroerosão de uma obra paletizada.

Para tal, conceberam-se quatro programas para a CMM:

- Sist. Coord. Eléctr.agw;
- Sist. Coord. Palete.agw;
- Eléctrodo Redondo.agw;
- Punç. Redondo Tipo B.agw;

No Anexo C encontram-se os procedimentos de paletização e no Anexo H os respectivos programas de calibração e centragem (eléctrodos e punções).

Utilizou-se o *software* MCOSMOS para criar os programas de calibração e medição na CMM e o *PreSet EDM* para efectuar o pós-processamento da centragem dos eléctrodos e punções.

Após a electroerosão da cavidade da ponteira dos punções, registou-se individualmente com uma base rectificada e um comparador a cota B dos punções. Identificaram-se os valores da cota B mais elevados, os mais baixos e alguns intermédios para medir a profundidade da cavidade da ponteira e verificar se os punções cumprem as dimensões especificadas. Na tabela 8.1 apresenta-se o registo das medições.

Com base no desenho do punção do Anexo A, determinam-se as cotas máximas e mínimas da cota A e cota B.

$$\text{Cota A: } 133,6_{-0,03}^{+0,00} = \begin{cases} 133,60 \\ 133,57 \end{cases}$$

$$\text{Cota B: } 133,22 \pm 0,01 = \begin{cases} 133,23 \\ 133,21 \end{cases}$$

A profundidade da cavidade da ponteira dos punções desta obra é 0,38 mm, pelo que o limite superior é a diferença entre o valor máximo da cota A e o valor mínimo da cota B; o limite inferior é a diferença entre o valor mínimo da cota A e o valor máximo da cota B. Logo os desvios da profundidade da cavidade da ponteira são:

$$0,38_{-0,04}^{+0,01} = \begin{cases} 0,39 \\ 0,34 \end{cases}$$

Tabela 8.1 – Registo das medições da profundidade da cavidade da ponteira e cota B após ensaio de electroerosão

#	Cota B (mm)	Profundidade da cavidade da ponteira (mm)	#	Cota B (mm)	Profundidade da cavidade da ponteira (mm)
1	133,267		27	133,272	
2	133,260		28	133,276	
3	133,279	0,378	29	133,280	0,377
4	133,269		30	133,273	
5	133,271		31	133,269	
6	133,268		32	133,269	0,382
7	133,247	0,390	33	133,263	
8	133,260		34	133,261	
9	133,260		35	133,258	
10	133,259		36	133,258	0,381
11	133,255	0,390	37	133,263	
12	133,261		38	133,265	
13	133,259		39	133,264	
14	133,255	0,388	40	133,268	0,387

(continua)

Tabela 8.1 – Registo das medições da profundidade da cavidade da ponteira e cota B após ensaio de electroerosão (continuação)

15	133,255	0,385	41	133,266	
16	133,256		42	133,268	
17	133,251	0,388	43	133,272	
18	133,260		44	133,272	0,380
19	133,259		45	133,274	
20	133,256		46	133,269	
21	133,267		47	133,280	0,380
22	133,266	0,387	48	133,279	0,369
23	133,267				
24	133,267				
25	133,266				
26	133,276	0,379			

Analisando os valores medidos, verifica-se que todas as medições da cota da profundidade da cavidade da ponteira se encontram dentro das tolerâncias especificadas. Em comparação com as medições registadas de outras obras com o processo de produção actual, os valores registados estão conformes, o que comprova que a palletização pode ser implementada.

9

Conclusões e Trabalhos Futuros

A análise do plano de fabrico do caso de estudo permitiu concluir que recorrendo a um sistema de fixação *zero-point* e a uma palete é possível uniformizar o plano de fabrico, reduzir de 8 *setups* para 1 *setup* e simplificar todo o processo, uma vez que a produção é feita num lote fixo.

Com a introdução de uma nova operação no plano de fabrico e o investimento de um novo sistema de fixação, é possível transferir operações da máquina de electroerosão para a CMM. Este procedimento torna-se vantajoso, visto que a CMM tem um custo máquina oito vezes inferior, com a vantagem de poder parar o processo caso seja encontrada alguma inconformidade com as dimensões das peças, uma vez que a CMM permite guardar um registo das medições.

Os ensaios realizados permitem confirmar que a paleta projectada é funcional em diversas operações do plano de fabrico do caso de estudo, confirmando-se que a paletetização permite reduzir os tempos de *setup* de diversas operações e o tempo de fabrico por punção. Verificou-se também que os punções são produzidos dentro das tolerâncias especificadas.

A nível de efeitos na capacidade produtiva da empresa verifica-se que no processo de fabrico dos punções, a operação de electroerosão é a que limita a capacidade de produção. Actualmente a empresa consegue fazer 126 punções por dia (20h de trabalho de máquina da electroerosão). Com a utilização da paleta, há uma poupança de tempo de electroerosão, uma vez que é realizada a centragem da ponteira dos punções na operação anterior na CMM. Este efeito permite produzir 144 punções por dia (22h46 de trabalho de máquina da electroerosão), o que corresponde a uma diminuição de 28,6% no tempo de electroerosão por punção (passa de 13,3 min./punção para 9,49 min./punção).

A utilização do sistema de fixação em formato de palete diminui exageradamente o tempo de produção das operações de máquina-ferramenta anteriores à electroerosão, provocando uma sobreprodução antes da electroerosão. Logo é importante ajustar o investimento e desenvolver o projecto para ser aplicado apenas nas operações de centragem (paletização), electroerosão e inspecção, uma vez que são as operações que permitem reduzir o tempo de produção total do plano de fabrico.

Trabalhos futuros:

- Adaptar o código de inspecção dos punções existente na empresa para a palete projectada para medir a cota B e a profundidade da cavidade da ponteira após a electroerosão;
- Desenvolver programas de centragem para a ponteira de outros punções;
- Desenvolver a metodologia criada para escolher um *zero-point* de outros fabricantes;
- Possibilidade de implementar o sistema de fixação noutras aplicações ou em punções de outros tamanhos, fazendo alterações na palete.

Bibliografia

- [1] “Reference systems for electrode manufacturing & EDMing - System 3R.pdf”. [Online]. Disponível em: http://www.system3r.ch/PDF/T-2389-e_edm.pdf. [Acedido: 30-Jan-2017].
- [2] “LURGA Metalúrgica”. [Online]. Disponível em: <http://www.lurga.pt/>. [Acedido: 05-Fev-2017].
- [3] “Chão de fábrica da Metalúrgica LURGA”. [Online]. Disponível em: <http://www.cm-loures.pt/media/foto/Foto20160121110118182.jpg>. [Acedido: 23-Ago-2017].
- [4] “The Theory and Practice of Pharmaceutical Technology|Digitális Tankönyvtár”. [Online]. Disponível em: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0016_01_the_theory_and_practise_of_pharmaceutical_technology/ch24.html. [Acedido: 23-Mai-2017].
- [5] ks1803, «Tablet Tooling in TSM and EU Standard», *Kosindustry*, 13-Jul-2016. .
- [6] “ISO 18084:2011 - Press tools for tablets -- Punches and dies”, ISO. [Online]. Disponível em: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=57880. [Acedido: 16-Fev-2017].
- [7] “for the latest news from I Holland”. [Online]. Disponível em: http://tablettingscience.com/images/editor/mkt-21_issue_4_punchline-2011-email.pdf. [Acedido: 30-Jun-2017].
- [8] Campbell, Paul D. Q., Basic Fixture Design. Industrial Press Inc., 1994.
- [9] J. G. Nee, W. Dufraine, J. W. Evans, M. Hill, e Society of Manufacturing Engineers, Eds., *Fundamentals of Tool Design*, 6ª Edição. Dearborn, Mich: Society of Manufacturing Engineers, 2010.
- [10] Mourão, António, “Aperto de Peças na Maquinação (Versão 1.1)”. FCT-UNL, 2003.

- [11] “Creative Tool Design - CarrLane”. [Online]. Disponível em: <https://www.carrlane.com/catalog/index.cfm/31162F1D0F0F0F17510A06542A1B10172D0D171B03005E25090C31170A4834170E3C06143327274F5E5F5A542F0F17170B01110B3327274F5D575544>. [Acedido: 27-Jan-2017].
- [12] H. Hashemi, A. M. Shaharoun, e S. Izman, “Fixture Designers Guidance: A Review of Recent Advanced Approaches.”, *Jordan J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 8, n. 6, 2014.
- [13] “Fixação permanente”. [Online]. Disponível em: <http://www.newulmprecision-tool.com/images/Fixturing/Trunnion-Style-Manual-Clamp-Workholding-Fixture-01.jpg>. [Acedido: 15-Fev-2017].
- [14] “Sistema de fixação modular”. [Online]. Disponível em: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/8a/4a/62/8a4a62adbe25ee1d0472d7571b359fe7.jpg>. [Acedido: 13-Fev-2017].
- [15] “Prensa de aperto universal”. [Online]. Disponível em: https://www.kurt-workholding.com/images/D100_Vise9669_web.jpg. [Acedido: 13-Fev-2017].
- [16] A. Y. C. Nee, K. Whybrew, e A. S. kumar, *Advanced Fixture Design for FMS*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [17] K. L. Narayana, P. Kannaih, e K. V. Reddy, *Machine Drawing*, 3ª Edição. New Age International, 2006.
- [18] W. E. Boyes, *Handbook of Jig and Fixture Design*, 2ª Edição. Society of Manufacturing Engineers, 1989.
- [19] R. M. Webb e B. D. Choat, *Jig & Fixture Design*. Londres: Institution of Production Engineers, 1973.
- [20] “Locating and Clamping Principles - CarrLane”. [Online]. Disponível em: <https://www.carrlane.com/catalog/index.cfm/29625071F0B221118070C1C513906103E0B05543B0B012009083C3B2853514059482013180B041D1E173C3B2853524B5A59>. [Acedido: 01-Mar-2017].
- [21] E. K. Hendriksen, *Jig and Fixture Design Manual*. Industrial Press Inc., 1973.
- [22] E. G. Hoffman, *Jig and Fixture Design*, 5th ed. Clifton Park, NY: Thomson/Delmar Learning, 2004.
- [23] A. Mourão, “Tolerâncias geométricas - Interpretação, princípios e métodos de verificação (Versão 1.1)”, FCT-UNL, 2004.
- [24] “EROWA AG”. [Online]. Disponível em: <http://www.erowa.com/en/homepage.html>. [Acedido: 22-Set-2017].
- [25] “Manual QuickChuck50 (ER-034387)”. EROWA.
- [26] “Centering plate 50”. [Online]. Disponível em: <http://www.erowa.com/en/products/workholding-systems/prodnav/PPM-Standardization/productionchuck-210/its-standard-electrode-holders.html>. [Acedido: 30-Ago-2017].

- [27] “EROWA General Catalog”. [Online]. Disponível em: <http://pdf.directindustry.com/pdf/erowa/erowa-general-catalog/24958-236408.html>. [Acedido: 31-Jan-2017].
- [28] “Fixturing System 5000 For Sinking EDM”. [Online]. Disponível em: http://www.edm-products.com/SYS5000_2407US.pdf. [Acedido: 30-Jan-2017].
- [29] “Manesty”. [Online]. Disponível em: <http://www.boschpackaging.com/en/pa/products/industries/technology/tg/tablet-pressing-15310.php?ind=1675>. [Acedido: 23-Ago-2017].
- [30] “Fette Compacting”. [Online]. Disponível em: <http://www.fette-compacting.com/highlights/>. [Acedido: 23-Ago-2017].
- [31] “Kilian | Romaco Pharmatechnik GmbH”. [Online]. Disponível em: <http://www.romaco.com/en/exploiting-technologies/kilian/>. [Acedido: 23-Ago-2017].
- [32] “Officine Meccaniche Ronchi”. [Online]. Disponível em: <http://www.officine-ronchi.it>. [Acedido: 23-Ago-2017].
- [33] “GEA - Courtoy Tableting Equipment”. [Online]. Disponível em: <http://www.s3process.co.uk/solid-dosage/gea-courtoy/tableting>. [Acedido: 23-Ago-2017].
- [34] “CADMACH”. [Online]. Disponível em: <http://www.cadmach.com/>. [Acedido: 23-Ago-2017].
- [35] “SEJONG PHARMATECH”. [Online]. Disponível em: <http://www.sjpmt.com/en>. [Acedido: 23-Ago-2017].
- [36] “IMA Group - Automated Solutions for Packaging Industry”. [Online]. Disponível em: <https://ima.it/>. [Acedido: 23-Ago-2017].
- [37] “Eurotab - Creator of tablet solutions”. [Online]. Disponível em: <http://www.eurotab.eu/en/>. [Acedido: 23-Ago-2017].
- [38] I. Iida, *Ergonomia: Projeto e Produção*, 2. ed. rev. e ampliada. São Paulo: Blucher, 2005.
- [39] “Factors of Safety”. [Online]. Disponível em: http://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d_1624.html. [Acedido: 21-Jun-2017].
- [40] C. M. Branco, J. M. Ferreira, J. D. da Costa, e A. S. Ribeiro, *Projecto de Orgãos de Máquinas*, 5ª Edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2005.
- [41] Y. Ichida, «Fractal Analysis of Micro Self-Sharpening Phenomenon in Grinding with Cubic Boron Nitride (cBN) Wheels», 2012.
- [42] S. Kalpakjian e S. Schmid, *Manufacturing, Engineering and Technology*, 6ª Edição. Pearson, 2006.
- [43] F. P. Beer, *Mecânica dos Materiais*, 5ª Edição. McGraw-Hill, 2011.
- [44] R. G. Budynas, J. K. Nisbett, e J. E. Shigley, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, Tenth edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2015.

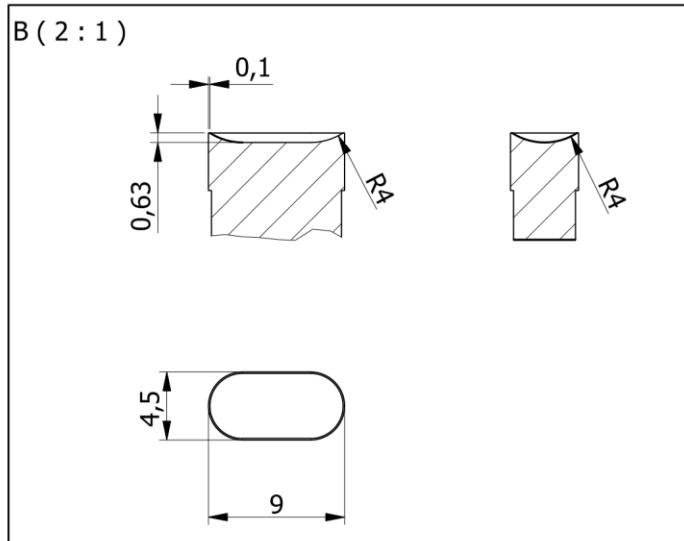
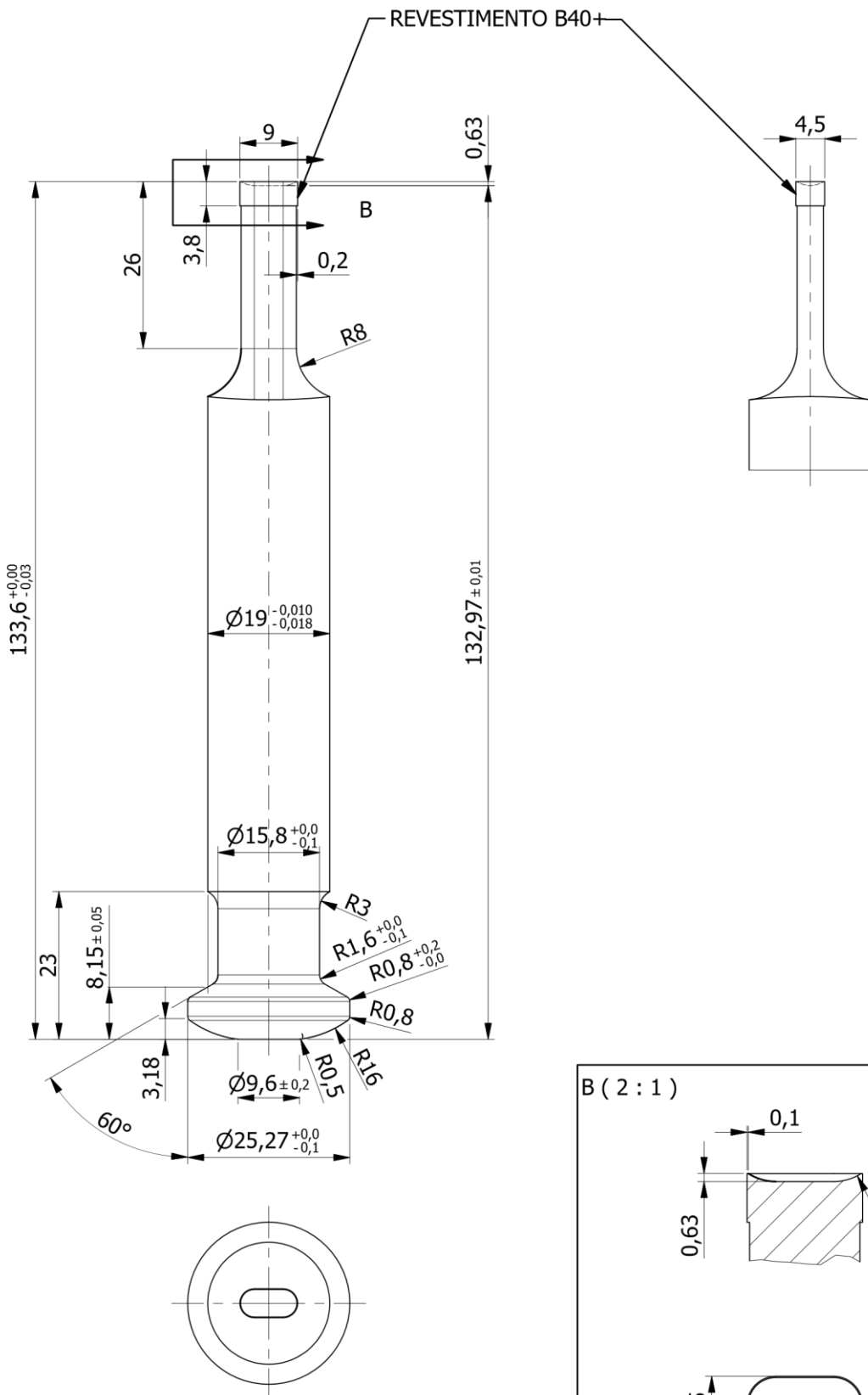
Anexos

Anexo A – Desenhos técnicos dos punções do caso de estudo

Este anexo contém os desenhos fornecidos pela LURGA dos punções superiores e inferiores do tipo B de uma obra. Ocultou-se a informação considerada confidencial relativa ao cliente tal como as tolerâncias, excepto as necessárias ao projecto.

Tabela A.1 – Desenhos técnicos dos punções superiores e inferiores do tipo B

Anexo	Desenho	Página
A.1	Punção Superior Oblongo 9,0x4,5 Côncavo	105
A.2	Punção Inferior Oblongo 9,0x4,5 Côncavo	107



PROJ.	
DES.	CONFIDENCIAL
VERIF.	
APROV.	
FOLHA de	
MAT.- K890 (L100) T.R. 59/61HRC	
QUANT.-	35
OBRA N.-	CONFIDENCIAL
FORÇA (kN)	
PROJ. N.º-	CONFIDENCIAL

DESIGNAÇÃO	PUNÇÃO INFERIOR OBLONGO 9,0x4,5 CÔNCAVO	
Maq.	FETTE 1200	punc_inf_final.idw
CLIENTE	CONFIDENCIAL	

.....

LURGA

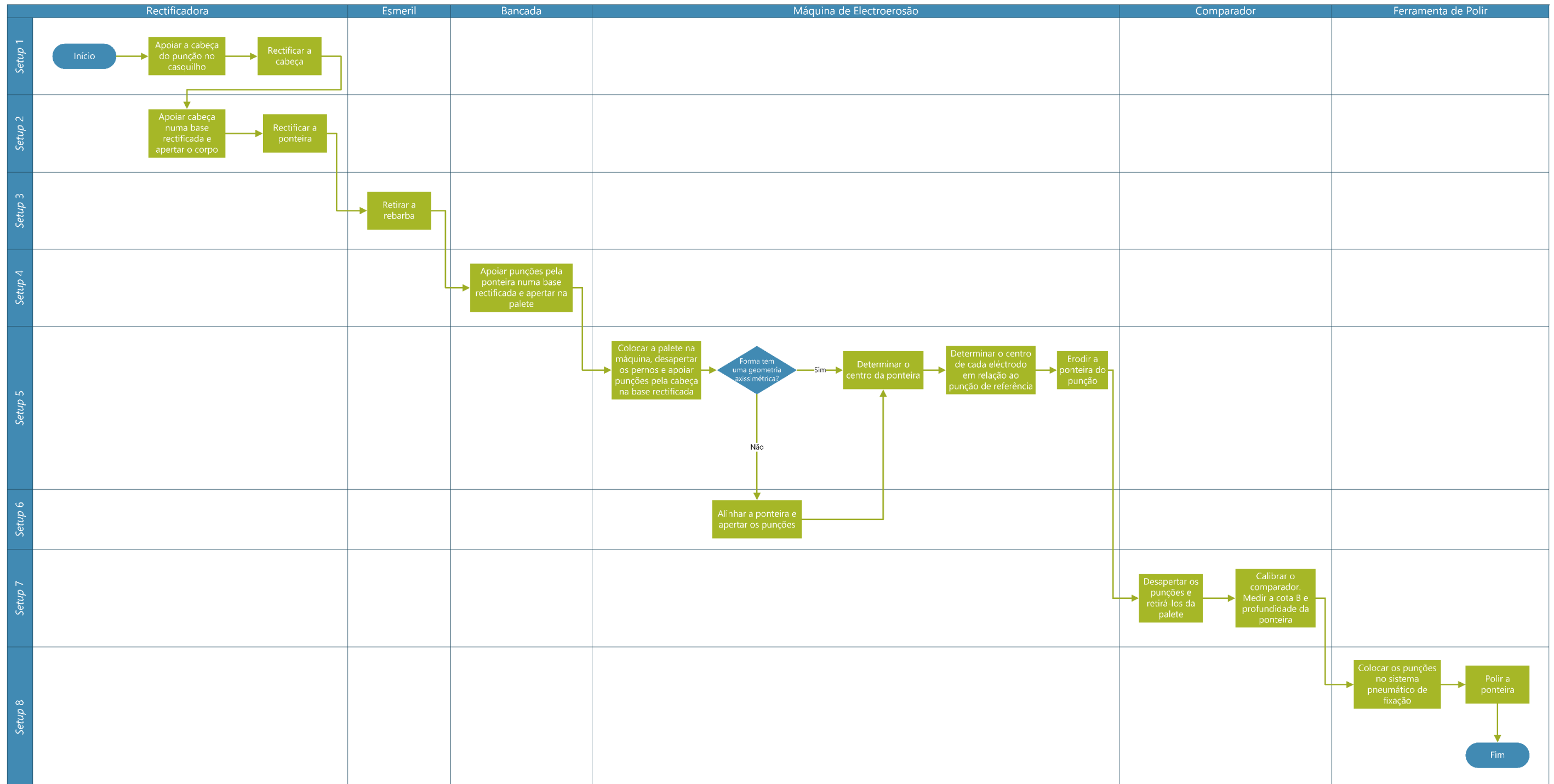
PORTUGAL

ESC.= 1:1

107

SIZE	A4
------	----

Anexo B – Fluxo do processo actual do caso de estudo



Anexo C – Procedimento de preparação, montagem e desmontagem

Rectificação da cabeça

1. Montar a palete com a face que tem os chanfros nos furos para cima pelos espigões nas bases EROWA, instaladas na mesa magnética da rectificadora;
2. Apertar os espigões de fixação em ambas as bases EROWA;
3. Colocar os punções nos furos da palete, apoiando-os pela zona inferior da cabeça nos chanfros;
4. Apertar os parafusos de fixação dos elementos de aperto;
5. Colocar as caixas de protecção nos espigões de topo;
6. Rectificar a cabeça dos punções;
7. Retirar as caixas de protecção.

Rectificação da ponteira

1. Desapertar os espigões de fixação em ambas as bases EROWA;
2. Retirar a palete com os punções fixos, virá-la ao contrário e montá-la pelos espigões nas bases EROWA com as ponteiras dos punções viradas para cima;
3. Apertar os espigões em ambas as bases EROWA;
4. Colocar as caixas de protecção nos espigões de topo;
5. Rectificar a ponteira dos punções;
6. Desapertar os espigões em ambas as bases EROWA;
7. Retirar a palete e colocá-la nos apoios próprios da bancada.

Remoção da rebarba

1. Apoiar a palete pelos espigões nas bases de apoio com as ponteiras dos punções para cima;
2. Remover a rebarba das ponteiras;
3. Retirar a palete e colocá-la nos apoios próprios da bancada.

Paletização

Calibrar eléctrodos

- 1) Iniciar programa de calibração “Sist. Coord. Eléctr.agw” para definir o sistema de coordenadas no centro do plano de localização da 1ª base EROWA para os eléctrodos;

- 2) Clicar “OK” na janela de instruções; (requisito ou meter instrução?)
- 3) Montar centrador (eléctrodo padrão) na 1ª base EROWA;
- 4) Utilizar o *joystick* e realizar uma medição manual de um ponto no plano horizontal do topo do centrador;
- 5) Premir “OK” na janela de instruções;
- 6) Medir manualmente quatro pontos na superfície cilíndrica do centrador;
- 7) Introduzir diâmetro do centrador e premir “OK”;
- 8) Retirar o centrador e clicar “OK”;
- 9) Medir manualmente os quatro pontos nas superfícies de encosto dos pinos de localização da 1ª base EROWA;
- 10) Montar a barra rectificadora nas bases EROWA;
- 11) Premir “OK” na janela de instruções;
- 12) Medir manualmente quatro pontos equidistantes ao longo do comprimento da barra na superfície lateral esquerda;
- 13) Retirar a barra rectificadora;

Calibrar palete

- 1) Iniciar programa de calibração “Sist. Coord. Palete.agw” para definir o sistema de coordenadas no centro do plano de localização da 1ª base EROWA para as paletes;
- 2) Clicar “OK” na janela de instruções;
- 3) Montar centrador na 1ª base EROWA;
- 4) Utilizar o *joystick* e realizar uma medição manual de um ponto no plano horizontal do topo do centrador;
- 5) Premir “OK” na janela de instruções;
- 6) Medir manualmente quatro pontos na superfície cilíndrica do centrador;
- 7) Introduzir diâmetro do centrador e premir “OK”;
- 8) Retirar o centrador e clicar “OK”;
- 9) Medir manualmente os quatro pontos nas superfícies de encosto dos pinos de localização, dois em cada base EROWA;
- 10) Montar a barra rectificadora nas bases EROWA;

- 11) Premir “OK” na janela de instruções;
- 12) Medir manualmente quatro pontos equidistantes ao longo do comprimento da barra na superfície lateral esquerda;
- 13) Retirar a barra rectificada.

Medir centros dos eléctrodos

- 1) Iniciar programa de medição do(s) centro(s) do(s) eléctrodo(s) “Eléctrodo Redondo.agw”;
- 2) Introduzir o nº da obra e premir “OK”;
- 3) Introduzir o diâmetro do(s) eléctrodo(s) e premir “OK”;
- 4) Introduzir a altura de toque e premir “OK”;
- 5) Introduzir o número total de eléctrodos para medir o centro e premir “OK”;
- 6) Introduzir o desvio em X em mm, caso o(s) eléctrodo(s) tenha(m) linha de quebra ou gravação ao centro e premir “OK”;
- 7) Introduzir o desvio em Y em mm, caso o(s) eléctrodo(s) tenha(m) linha de quebra ou gravação ao centro e premir “OK”;
- 8) Introduzir o número/identificação do primeiro punção a medir e premir “OK”;
- 9) Aguardar pelo fim da medição do centro do eléctrodo;
- 10) Retirar eléctrodo;
- 11) Colocar o eléctrodo seguinte;
- 12) Premir “OK” na janela de instruções;
- 13) Repetir todo as etapas 8 a 11 até todos os eléctrodos estarem medidos;
- 14) Retirar o último eléctrodo.

Medir centros dos punções

- 1) Montar a palete com as ponteiras para cima nas bases EROWA da mesa da máquina de medição por coordenadas;
- 2) Apertar os espigões de fixação em ambas as bases EROWA;
- 3) Iniciar programa de medição do centro dos punções “Punç. Redondo Tipo B.agw”;

- 4) Introduzir o nº da obra e premir “OK”;
- 5) Introduzir o tipo de punção (B ou D) e premir “OK”;
- 6) Introduzir a identificação da palete (1,2 ou 3) e premir “OK”;
- 7) Introduzir o diâmetro dos punções e premir “OK”;
- 8) Introduzir a quantidade de punções montados na fila do lado direito e premir “OK”;
- 9) Introduzir o nº da posição do punção a utilizar para a décalage e premir “OK”;
- 10) Introduzir a quantidade de punções montados na fila do lado esquerdo e premir “OK”;
- 11) Aguardar pelo fim da medição de centros dos punções;
- 12) Desapertar os espigões em ambas as bases EROWA;
- 13) Retirar a palete e colocá-la nos apoios próprios da bancada.
- 14) Processar as centragens dos eléctrodos e dos punções;
- 15) Enviar dados das centragens através da rede para a máquina de electroerosão;

Electroerosão

1. Montar a palete com as ponteiras para cima nas bases EROWA da mesa da máquina de electroerosão;
2. Apertar os espigões de fixação em ambas as bases EROWA;
3. Montar os eléctrodos nos garfos de suporte da máquina de electroerosão;
4. Editar o programa de erosão com os valores medidos na máquina de medição por coordenadas;
5. Encher o tanque da máquina com fluido dieléctrico e executar o programa de erosão de penetração;
6. Esvaziar o tanque da máquina e limpá-lo;
7. Desapertar os espigões em ambas as bases EROWA;
8. Retirar a palete e colocá-la nos apoios próprios da bancada.

Inspeção

1. Montar palete com as ponteiras para cima nas bases EROWA da mesa da máquina de medição por coordenadas;
2. Apertar os espigões de fixação em ambas as bases EROWA;
3. Executar o programa de medição da cota B dos punções;

4. Imprimir o relatório de medições;
5. Desapertar os espigões em ambas as bases EROWA;
6. Retirar a palete e colocá-la nos apoios próprios da bancada.

Polimento

1. Apoiar a palete com as ponteiros para cima nas bases de apoio;
2. Polir a cavidade das ponteiros dos punções;
3. Retirar a palete e colocá-la nos apoios próprios da bancada.

Procedimento de limpeza

A limpeza seja da máquina-ferramenta, seja do sistema de fixação, seja das peças é uma operação de grande importância, visto que é fundamental manter a área de trabalho da máquina, peças (superfícies de localização e superfícies de maquinação) e sistemas de fixação livres de rebarbas, limalhas e sujidade para assegurar o rigor e a qualidade das peças.

As superfícies do sistema de fixação e dos punções que requerem uma maior atenção na limpeza são:

- Caixas da grade;
- Cabeça dos punções;
- Ponteira dos punções;
- Interior dos furos da grade;
- Superfícies de localização das bases EROWA;
- Espigões de fixação;
- Chapas de centragem;
- Interior das bases EROWA.

Na tabela c.1 encontra-se um resumo das ferramentas necessárias, periodicidade e actividades de limpeza para cada operação do caso de estudo.

Tabela C.1 – Procedimento de limpeza das operações do caso de estudo

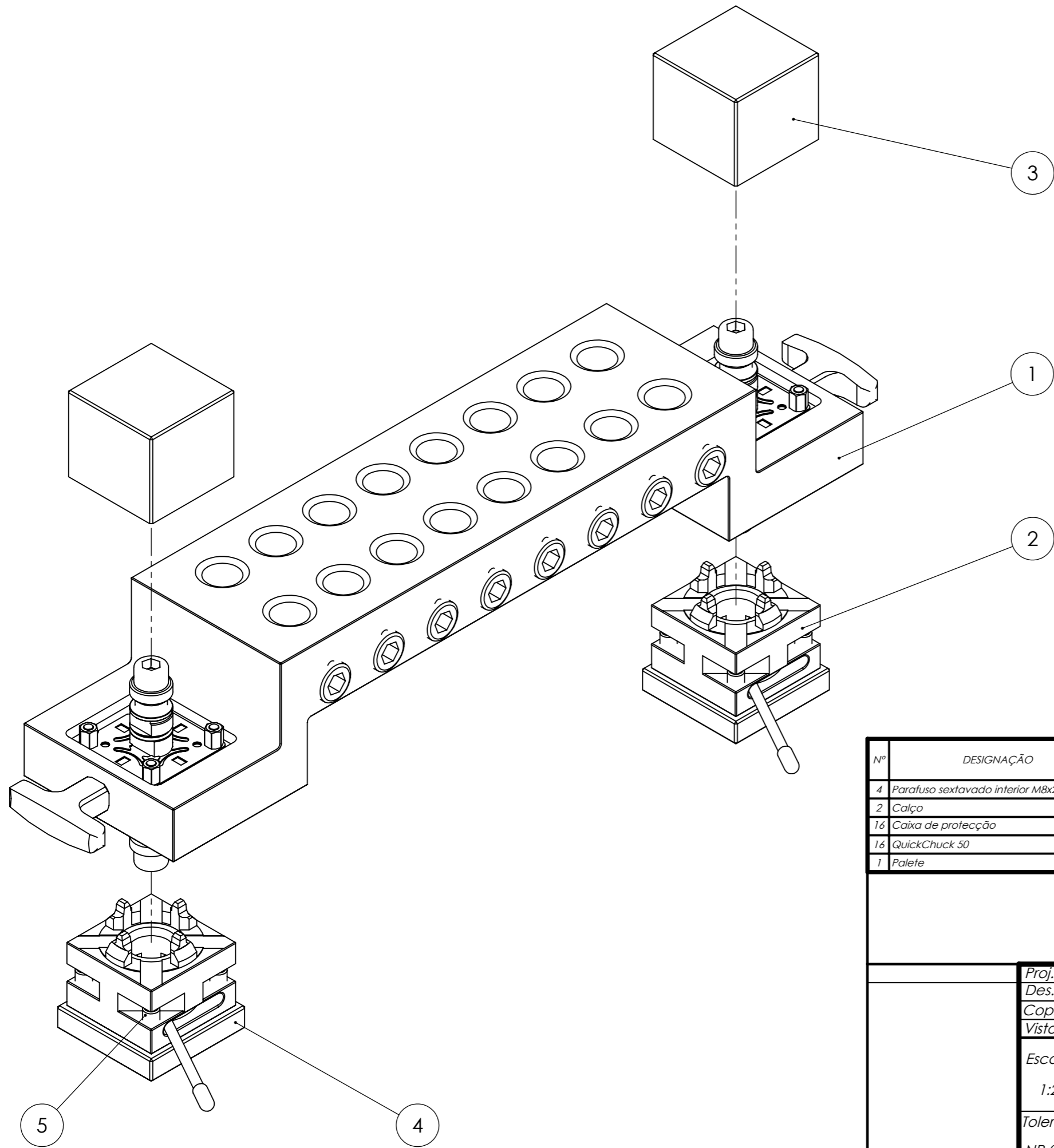
Operações	Ferramentas	Periodicidade	Procedimento
Rectificação da cabeça	<ul style="list-style-type: none"> • Ar comprimido • Trincha 	Após cada lote	Limpar a grade, punções e bases da EROWA
Rectificação da ponteira	<ul style="list-style-type: none"> • Ar comprimido • Trincha 	Após cada lote	Limpar a grade, punções e bases da EROWA
Remoção da rebarba	Trincha	Após cada lote	Limpar a ponteira dos punções
Centragem	N/A	N/A	N/A
Electroerosão	<ul style="list-style-type: none"> • Trincha • Dieléctrico 	Após cada lote	Limpar a grade, punções e bases da EROWA
Polimento	<ul style="list-style-type: none"> • Ar comprimido • Trincha • Pano 	Após cada lote	Limpar a ponteira dos punções
Inspeção	<ul style="list-style-type: none"> • Pano • Álcool 	Após cada lote	Limpar as bases da EROWA
Rectificação de alturas	<ul style="list-style-type: none"> • Ar comprimido • Trincha 	Após cada lote	Limpar a grade e bases da EROWA

Anexo D – Desenhos técnicos do sistema de fixação

Este anexo contém todos os desenhos técnicos do sistema de fixação projectado que servem de suporte a esta dissertação, obtidos através do *software* de CAD *Solidworks*[®].

Tabela D.1 – Desenhos do sistema de fixação para punções do tipo B

Anexo	Desenho	Página
D.1	Sistema de fixação	119
D.2	Palete (conjunto)	121
D.3	Palete (montagem)	123
D.4	Grade	125
D.5	Calço de aperto	127
D.6	Caixa de protecção	129
D.7	Calço (modelo A)	131
D.8	Calço (modelo B)	133



Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO Nº DO MOLDE Nº DA MATRIZ	PESO	OBSERVAÇÕES
4	Parafuso sextavado interior M8x25	ISO 4762	Aço	5			
2	Calço	01.03.00 - A	C45E	4		0.32	
16	Caixa de protecção	01.02.00	Nylon	3		0.18	
16	QuickChuck 50	Ref. ER-034387	Aço Inox	2			
1	Paleta	01.01.00		1		11	

Proj.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Des.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Copiou		
Visto		

DISSERTAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

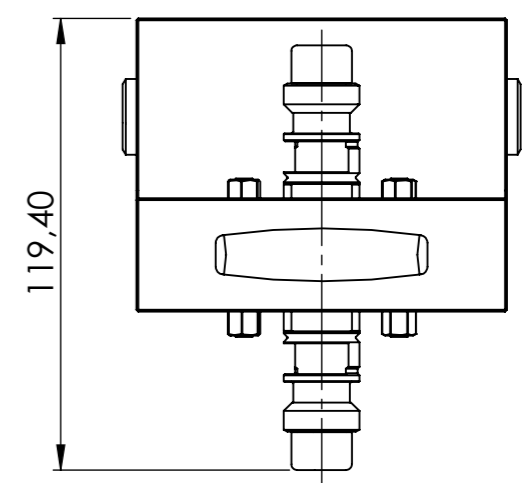
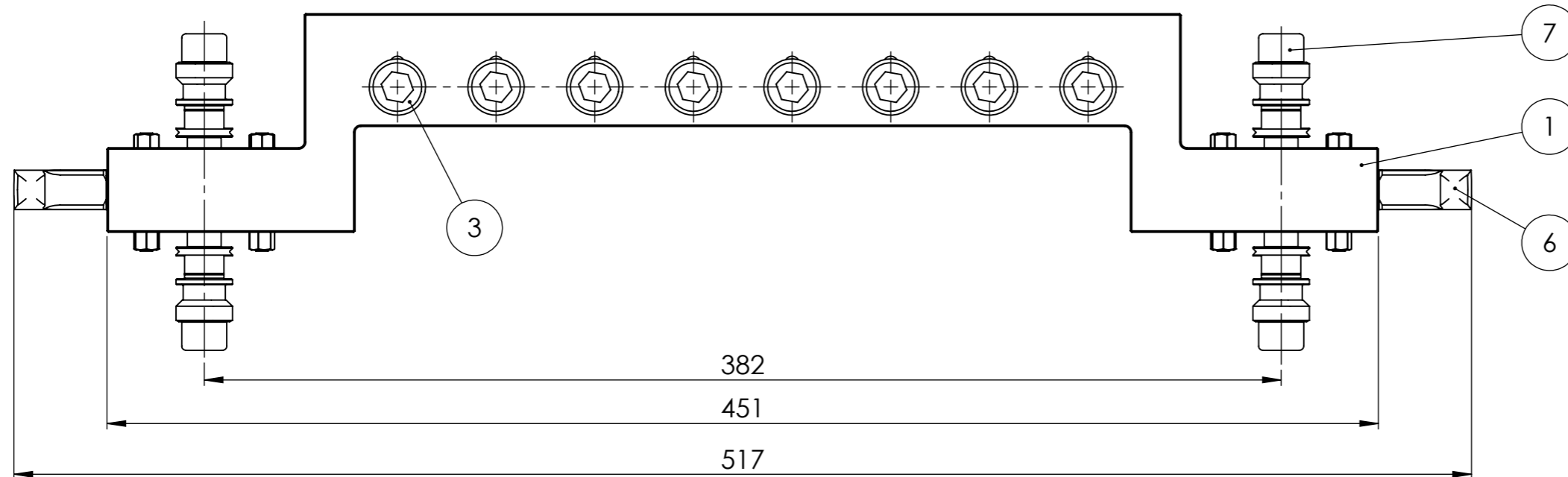
FCT-UNL

Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

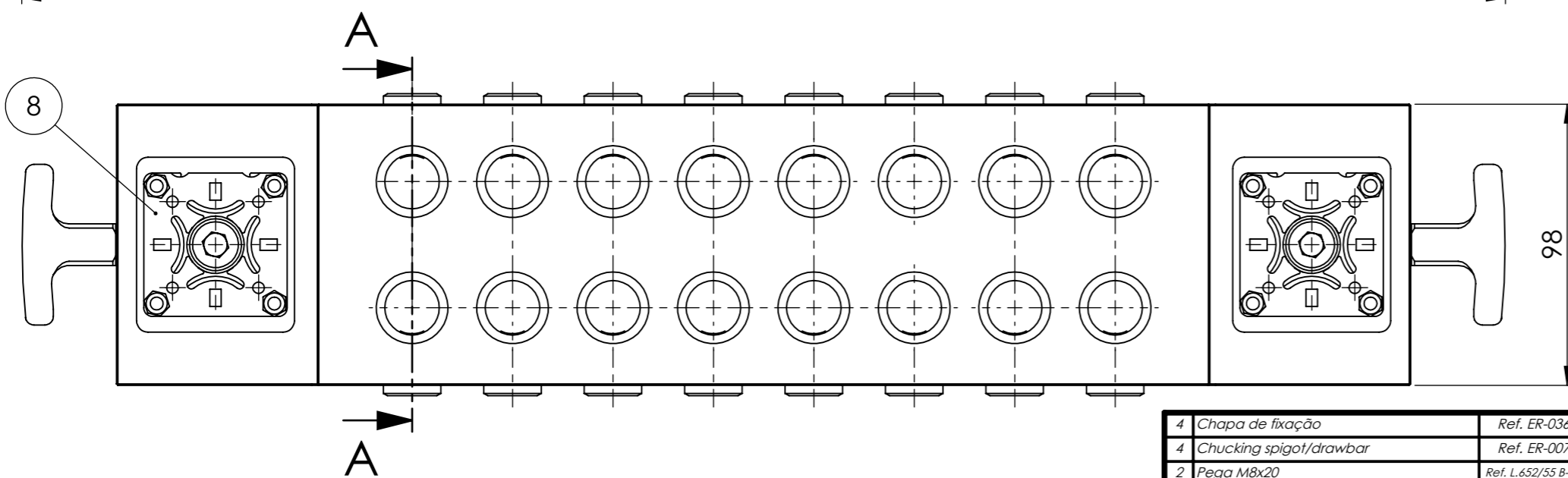
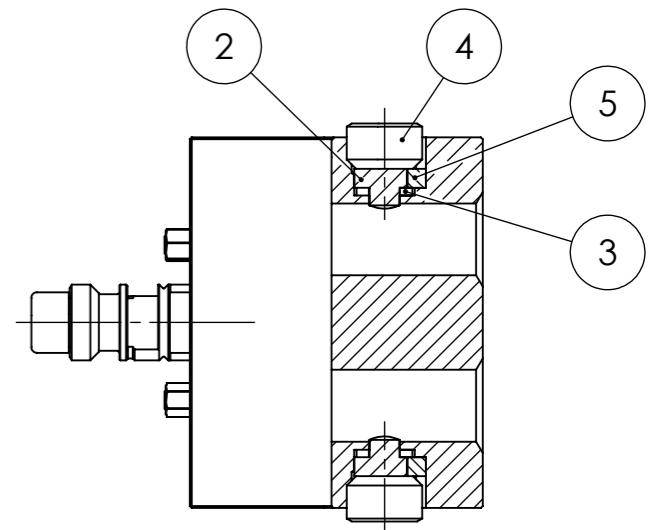
Escala
1:2
Toleran.
NP-265
Médio

SISTEMA DE FIXAÇÃO

01.00.00



CORTE A-A



4	Chapa de fixação	Ref. ER-036751	Aço	8			
4	Chucking spigot/drawbar	Ref. ER-007980	Aço	7			
2	Pega M8x20	Ref. L.652/55 B-M8-C9	Tecnopolímero	6		0.03	
16	Cavilha paralela A4 ϕ 5x5	DIN 7	Aço Inox	5			
16	Perno sextavado interior M20x12	ISO 4026	Aço	4			
16	Anilha de mola A4 M8	DIN 127 B	Aço Inox	3			
16	Calço de aperto	01.01.02	CuSn 12	2		0.01	
1	Grade	01.01.01	C45E	1		11	
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO Nº DO MOLDE Nº DA MATRIZ	PESO	OBSERVAÇÕES

Proj.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Des.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Copiou		
Visto		

DISSERTAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

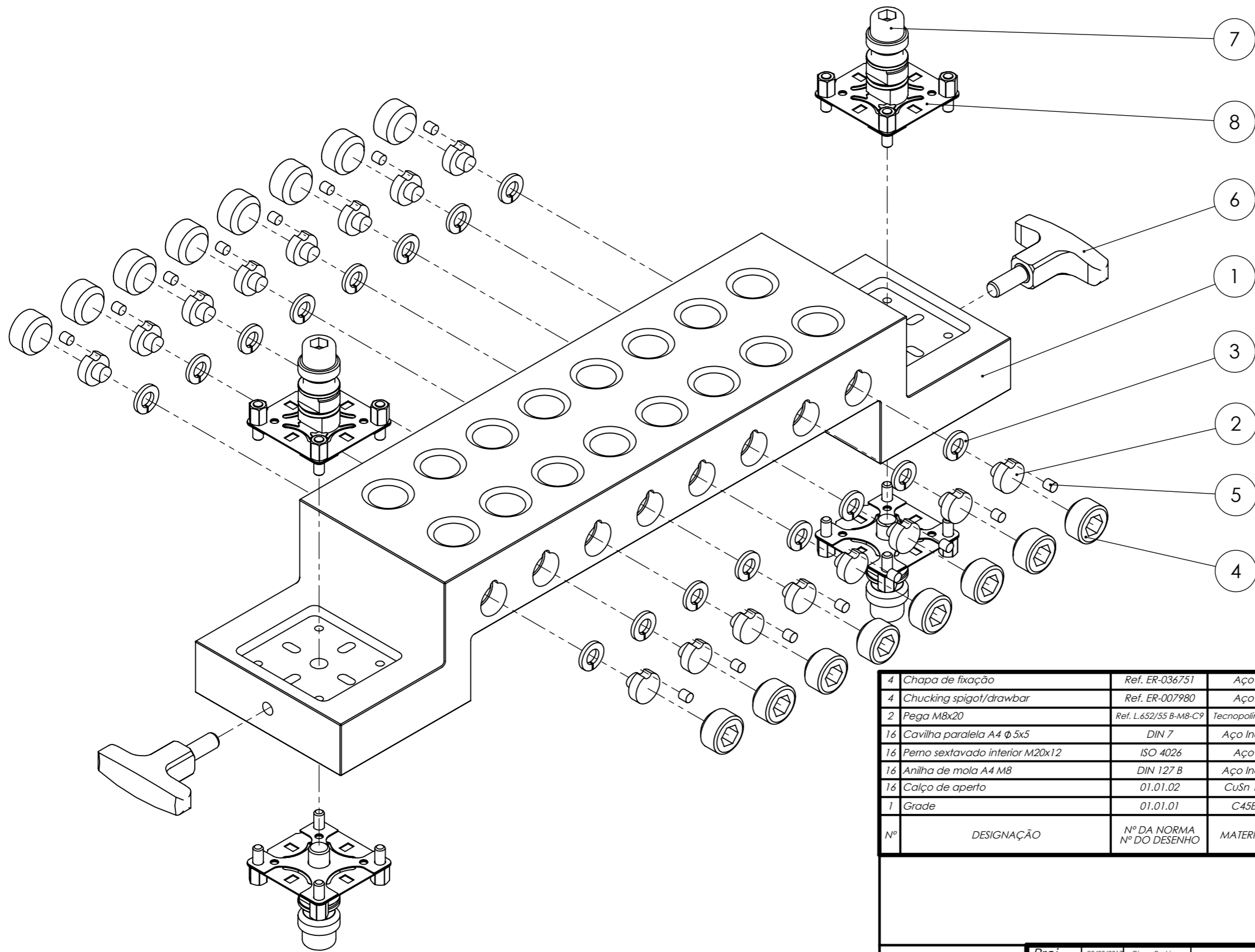
FCT-UNL

Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

Escala	1:2
Toleran.	NP-265 Médio

PALETE
(CONJUNTO)

01.01.00



4	Chapa de fixação	Ref. ER-036751	Aço	8				
4	Chucking spigot/drawbar	Ref. ER-007980	Aço	7				
2	Pega M8x20	Ref. L.652/55 B-M8-C9	Tecnopolímero	6		0.03		
16	Cavilha paralela A4 ϕ 5x5	DIN 7	Aço Inox	5				
16	Perno sextavado interior M20x12	ISO 4026	Aço	4				
16	Anilha de mola A4 M8	DIN 127 B	Aço Inox	3				
16	Calço de aperto	01.01.02	CuSn 12	2		0.01		
1	Grade	01.01.01	C45E	1		11		
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO Nº DO MOLDE Nº DA MATRIZ		PESO	OBSERVAÇÕES

Proj. 23/08/2017 Diogo Rodrigues
Des. 23/08/2017 Diogo Rodrigues
Copiou
Visto

DISSERTAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

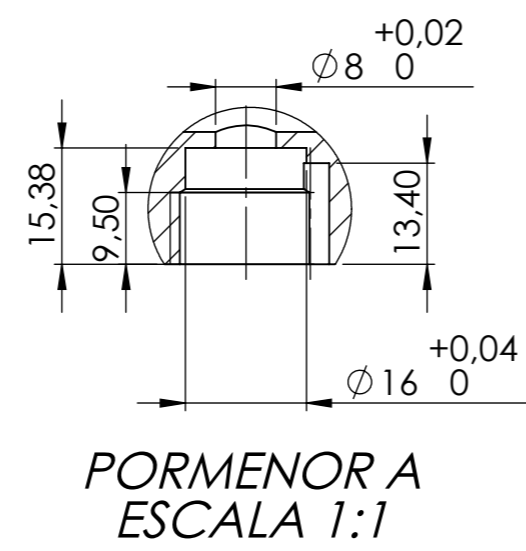
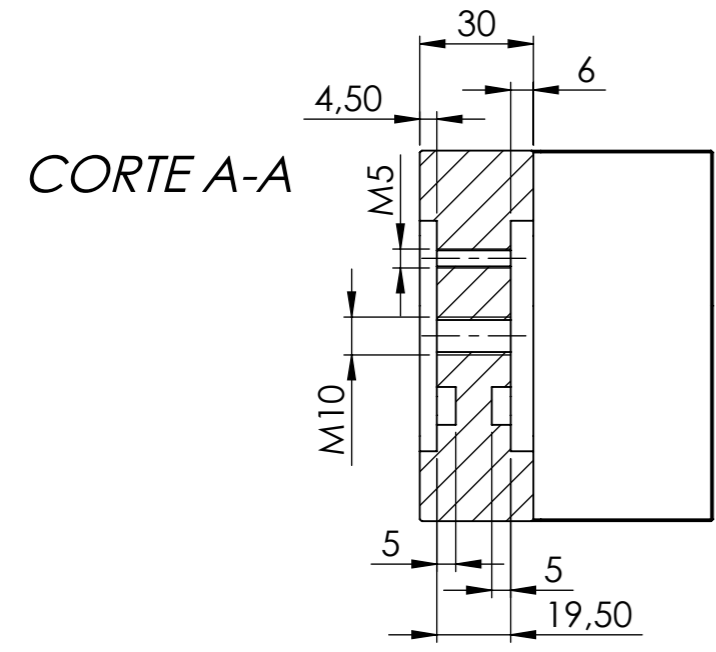
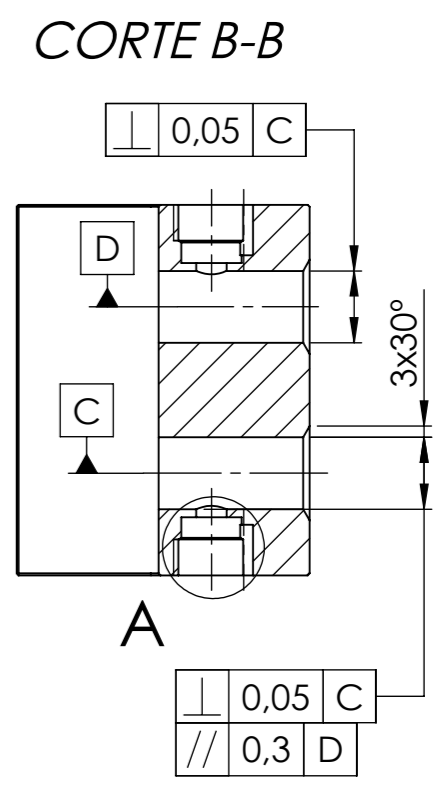
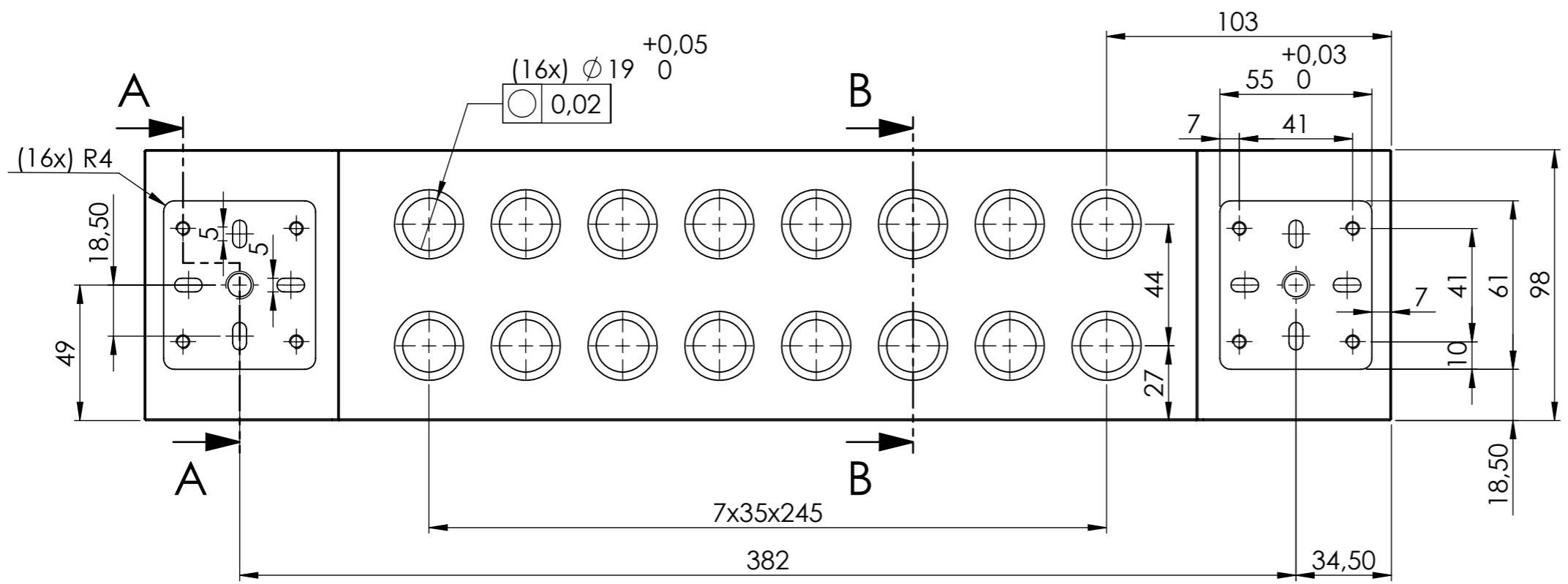
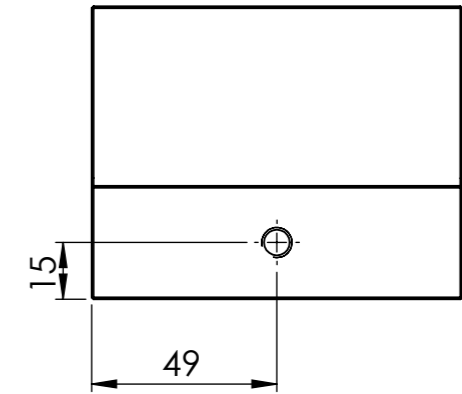
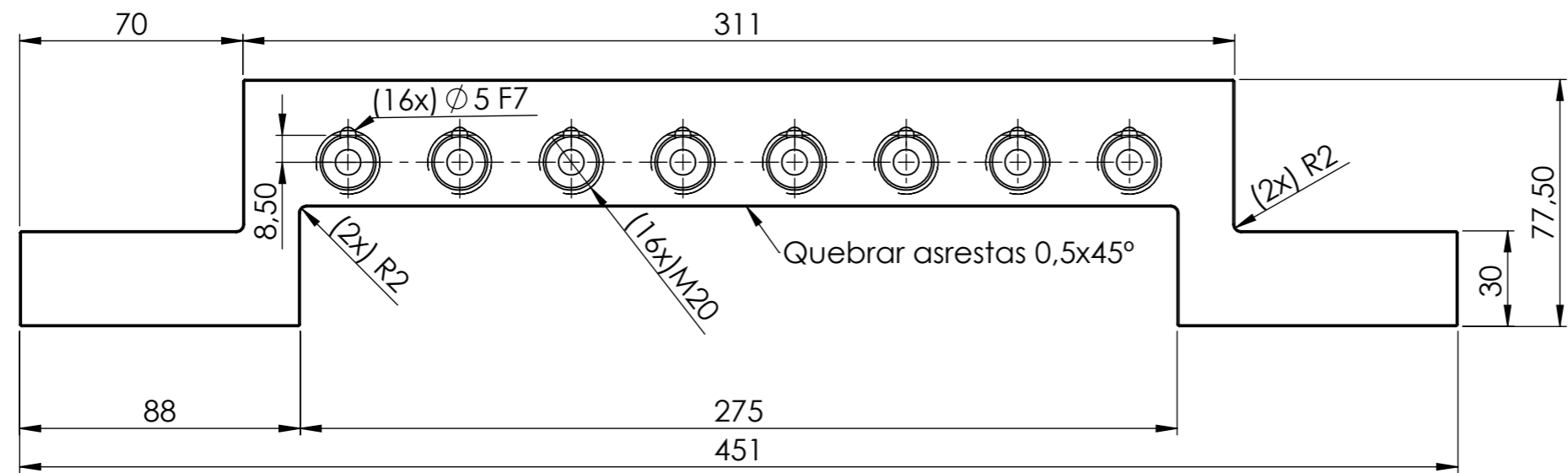
FCT-UNL

Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

Escala
1:2
Toleran.
NP-265
Médio

**PALETE
(MONTAGEM)**

01.01.00 - 2

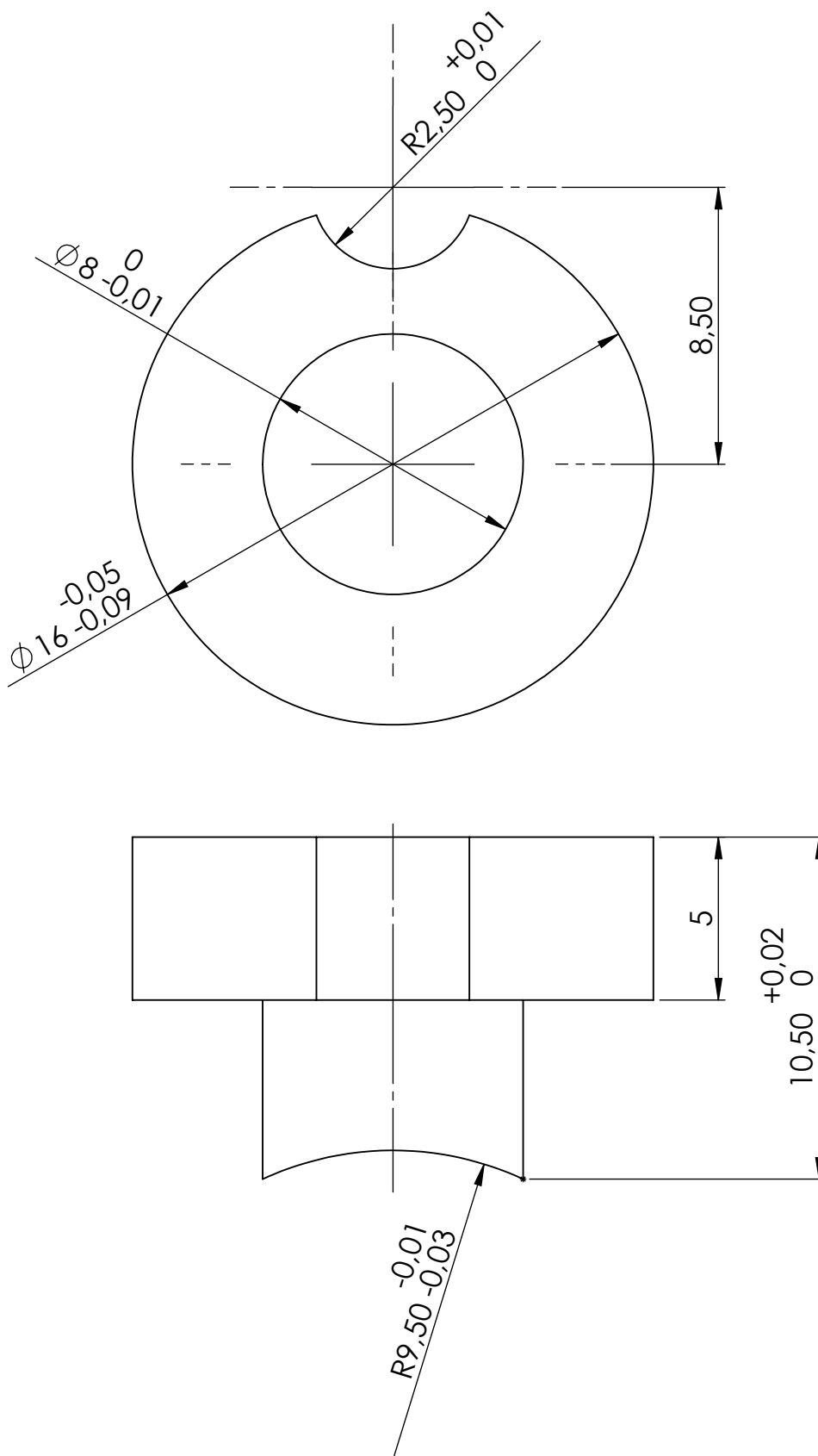


Nitruração	Proj.	23/08/2017	Diogo Rodrigues	DISSERTAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA	FCT-UNL Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial
	Des.	23/08/2017	Diogo Rodrigues		
	Copiou			01.01.01	
	Visto				
Escalas		1:2 1:1		GRADE	
Toleran.		NP-265 Médio			

Proj.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Des.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Copiou		
Visto		

DISSERTAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

FCT-UNL

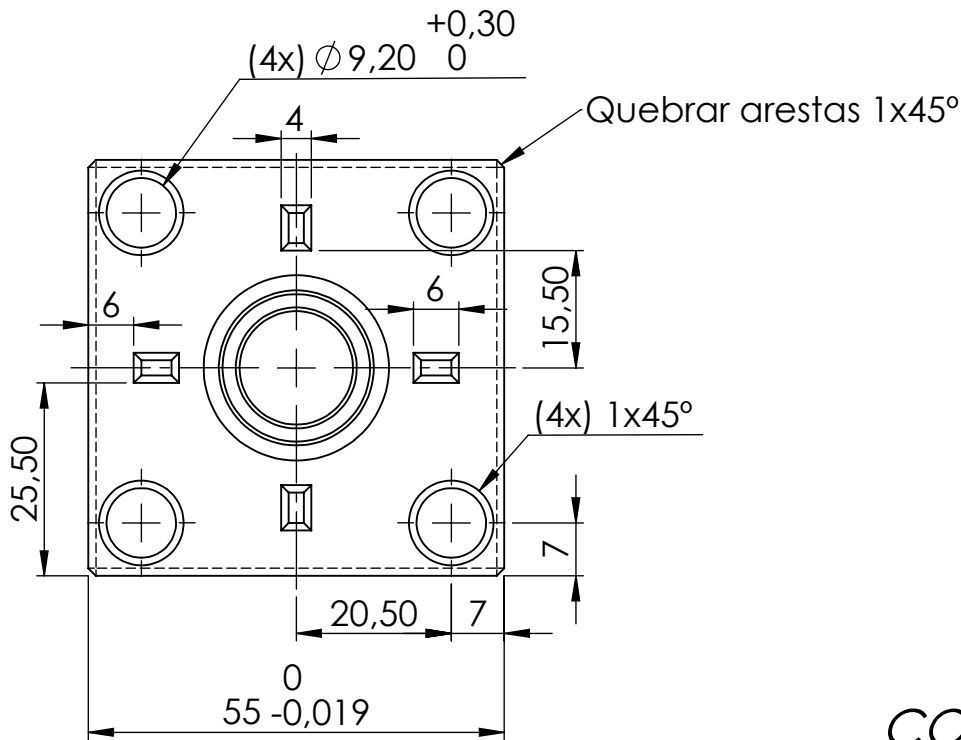


5:1
Toleran.
ISO 2768-m

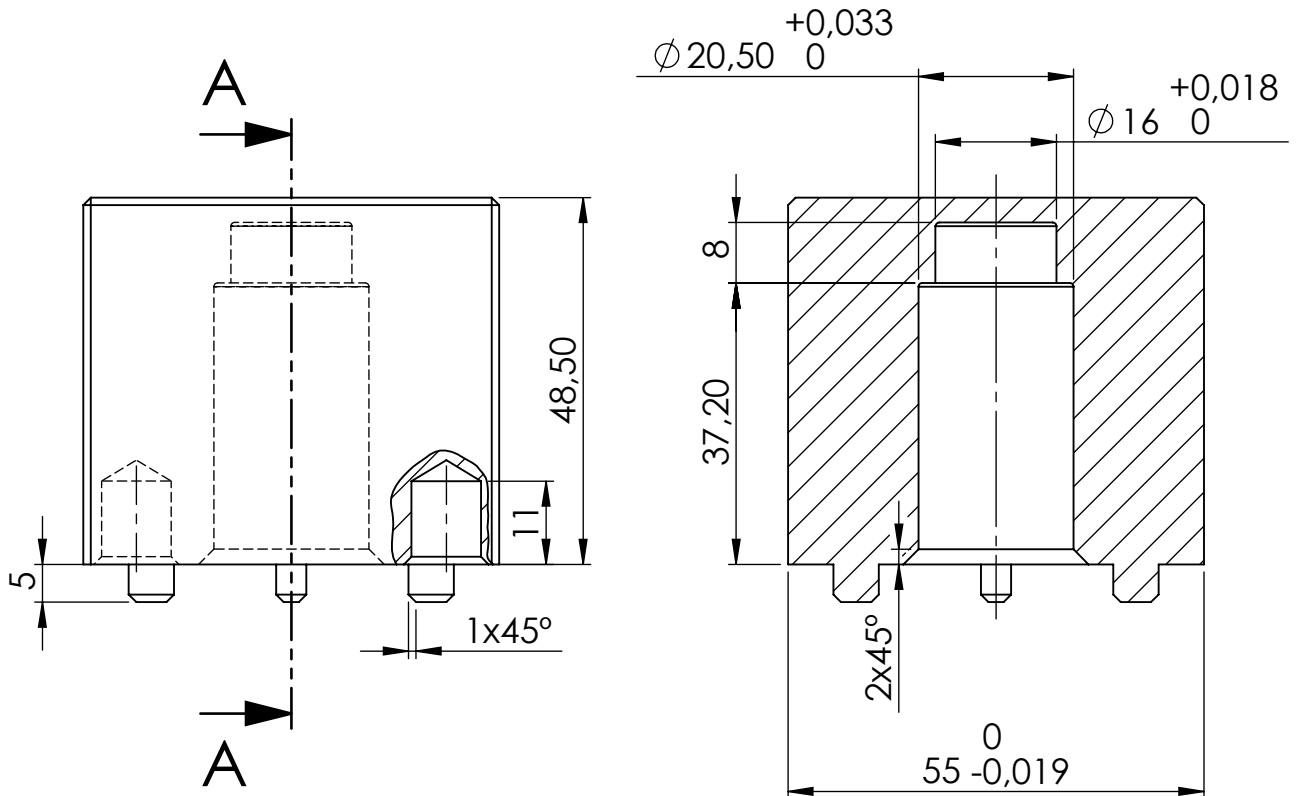
CALÇO
DE APERTO

01.01.02

Proj.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Des.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Copiou		
Visto		



CORTE A-A



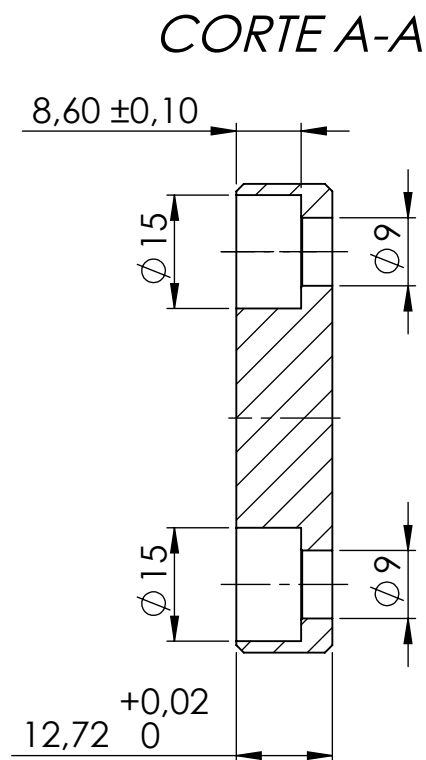
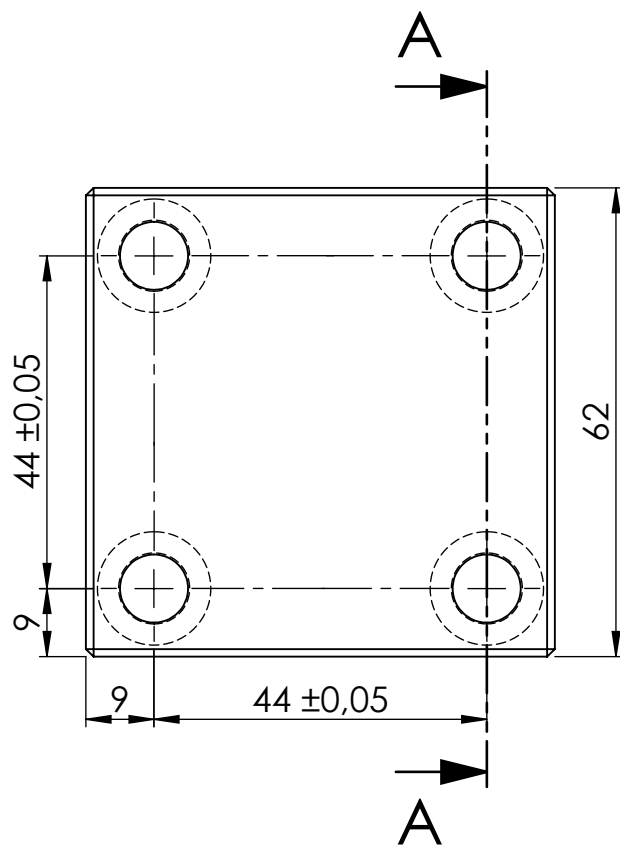
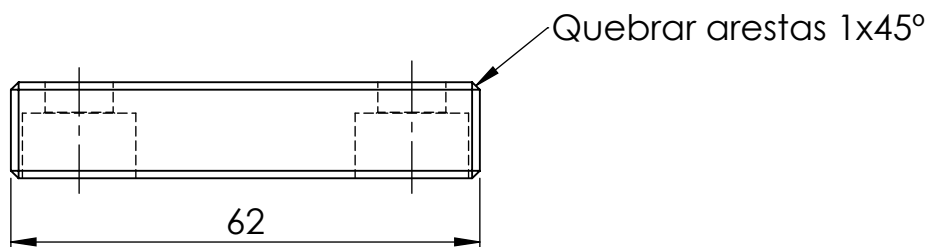
1:1

Toleran.
ISO 2768-m

CAIXA DE
PROTECÇÃO

01.02.00

Proj.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Des.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Copiou		
Visto		



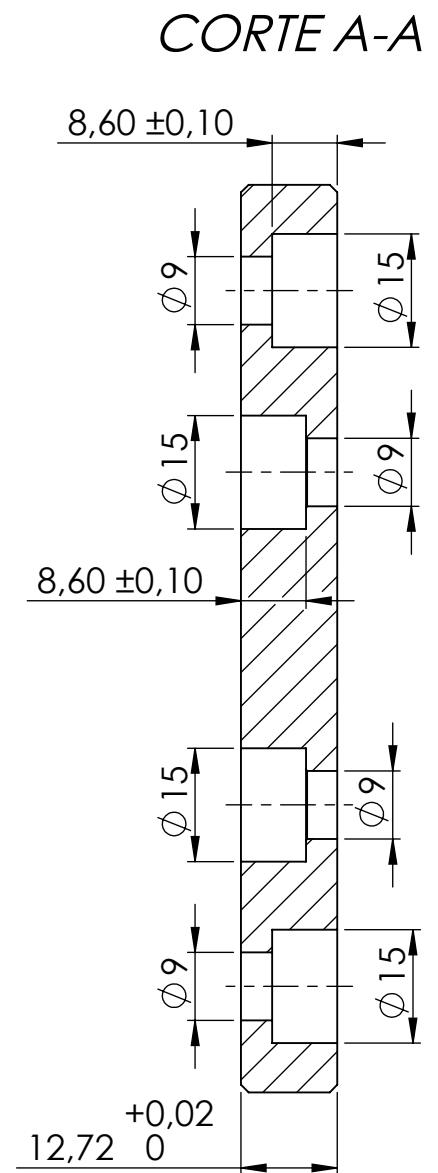
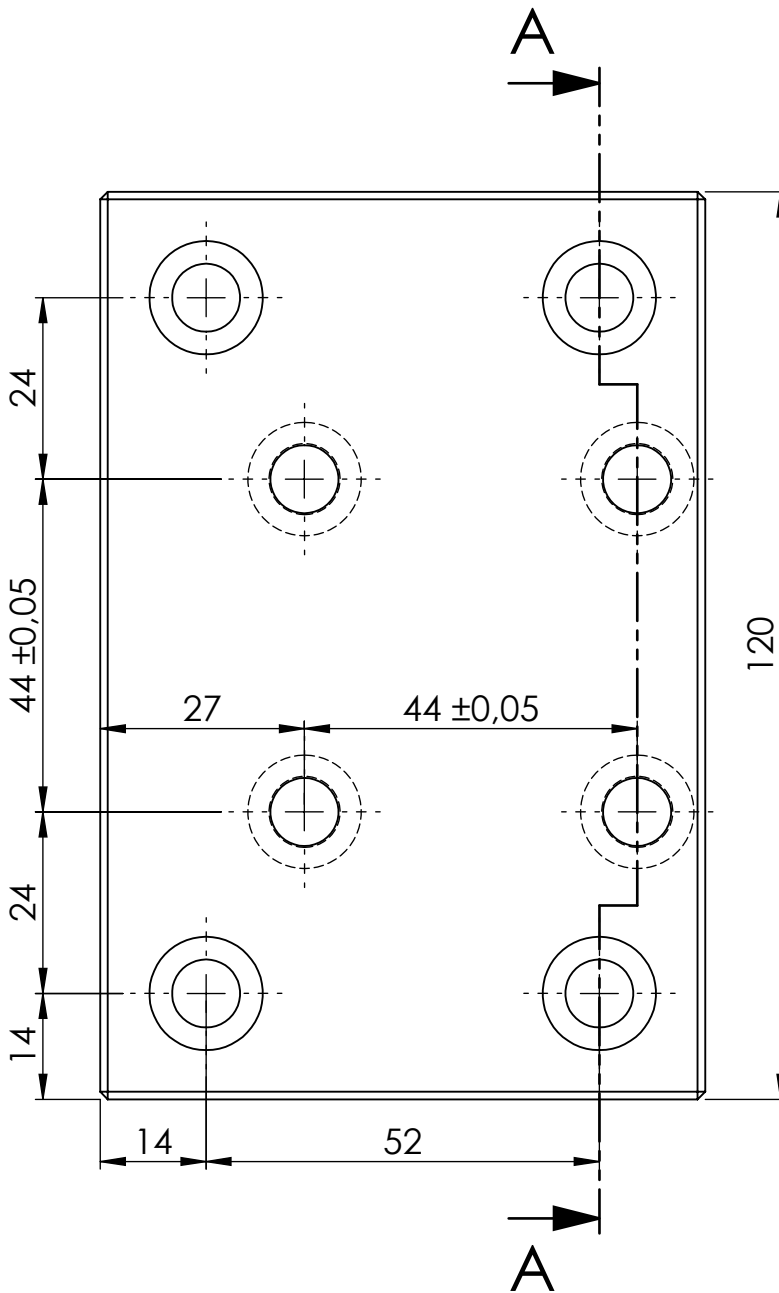
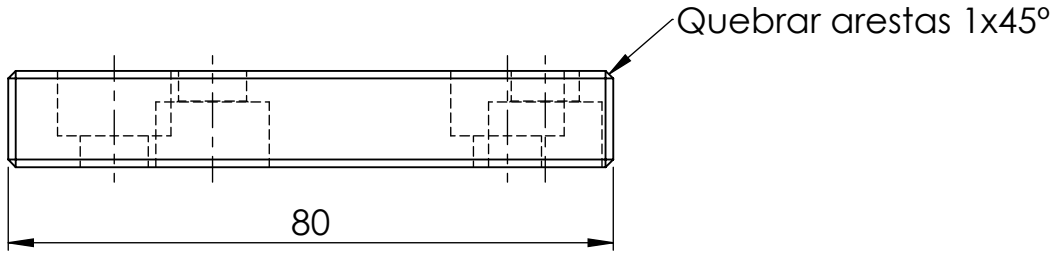
1:1

Toleran.
ISO 2768-m

CALÇO
(MODELO A)

01.03.00

Proj.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Des.	23/08/2017	Diogo Rodrigues
Copiou		
Visto		

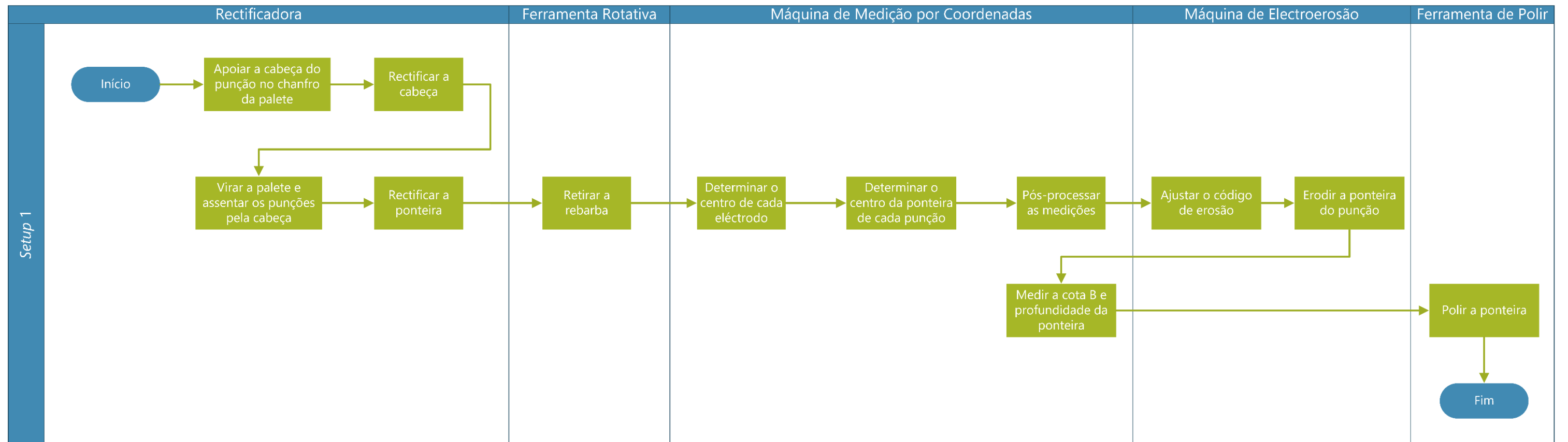


1:1
Toleran. ISO 2768-m

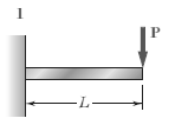
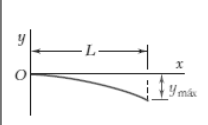
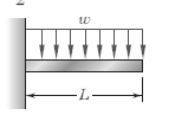
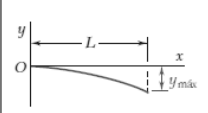
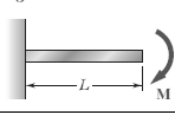
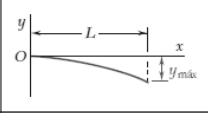
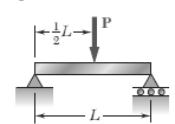
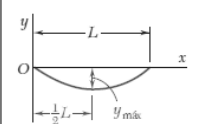
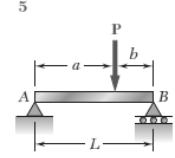
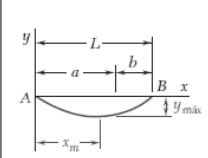
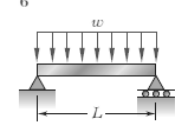
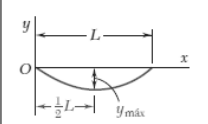
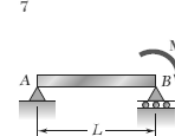
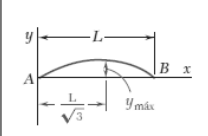
CALÇO (MODELO B)

01.03.00 - 2

Anexo E – Fluxo do processo do caso de estudo para o sistema de fixação projectado



Anexo F – Flecha de vigas e rotação nos apoios [43]

Tipos de viga e carregamento	Linha elástica	Flecha máxima	Rotação nos apoios	Equação da linha elástica
		$-\frac{PL^3}{3EI}$	$-\frac{PL^2}{2EI}$	$y = \frac{P}{6EI}(x^3 - 3Lx^2)$
		$-\frac{wL^4}{8EI}$	$-\frac{wL^3}{6EI}$	$y = -\frac{w}{24EI}(x^4 - 4Lx^3 + 6L^2x^2)$
		$-\frac{ML^2}{2EI}$	$-\frac{ML}{EI}$	$y = -\frac{M}{2EI}x^2$
		$-\frac{PL^3}{48EI}$	$\pm \frac{PL^2}{16EI}$	Para $x \leq \frac{1}{2}L$: $y = \frac{P}{48EI}(4x^3 - 3L^2x)$
		Para $a > b$: $-\frac{Pb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EIL}$ a $x_m = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$	$\theta_A = -\frac{Pb(L^2 - b^2)}{6EIL}$ $\theta_B = +\frac{Pa(L^2 - a^2)}{6EIL}$	Para $x < a$: $y = \frac{Pb}{6EIL}[x^3 - (L^2 - b^2)x]$ Para $x = a$: $y = -\frac{Pa^2b^2}{3EIL}$
		$-\frac{5wL^4}{384EI}$	$\pm \frac{wL^3}{24EI}$	$y = -\frac{w}{24EI}(x^4 - 2Lx^3 + L^3x)$
		$\frac{ML^2}{9\sqrt{3}EI}$	$\theta_A = +\frac{ML}{6EI}$ $\theta_B = -\frac{ML}{3EI}$	$y = -\frac{M}{6EIL}(x^3 - L^2x)$

Anexo G – Elementos de Ligação – Parafusos [40]

Tabela G.1 – Classificação de resistência para os parafusos de classe métrica

Classe de resistência	Gama de dimensões (inclusive)	Tensão de prova (MPa)	Tensão de rotura (MPa)	Tensão de cedência (MPa)	Material	Marcação na cabeça
4.6	M5-M36	225	400	240	Aço - Baixo teor de carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Aço - Baixo teor de carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Aço - Baixo teor de carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Aço - Médio teor de carbono TT	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Aço - Médio teor de carbono TT	
10.9	M5-M36	830	1040	940	Aço – Liga de baixo teor de carbono TT	
12.9	M1.6-M36	970	1220	1100	Aço - Liga TT	

TT – Tratado termicamente.

Para as classes 4.6 a 5.8 é comum considerar uma tensão admissível igual a 70% da tensão de prova; para as classes 8.8 e superiores considera-se normalmente uma tensão admissível de 70% da tensão de cedência.

Tabela G.2 – Diâmetros e áreas dos parafusos do sistema ISO

Diâm. ext.	Série de passo grosso		
	d _e (mm)	Passo p (mm)	Área Resist. A _t mm ²
1,6	0,35	1,27	1,07
2	0,4	2,07	1,79
2,5	0,45	3,39	2,98
3	0,5	5,03	4,47
3,5	0,6	6,78	6,00
4	0,7	8,78	7,75
5	0,8	14,2	12,7
6	1	20,1	17,9
8	1,25	36,6	32,8
10	1,5	58,0	52,3
12	1,75	84,3	76,3
14	2	115	104
16	2	157	144
18	2,5	192	175
20	2,5	245	225
24	3	353	324
30	3,5	561	519
36	4	817	759
42	4,5	1120	1 050
48	5	1470	1 380
56	5,5	2030	1 910
64	6	2680	2 520
72	6	3460	3 280
80	6	4340	4 140
90	6	5590	5 360
100	6	6990	6 740

A_t – Área da secção equivalente do parafuso para efeito de resistência à tracção.

A_r – Área correspondente ao diâmetro de raiz.

Tabela G.3 – Valores de carga e momento de aperto máximo

Diâmetro nominal	Passo	Classe 4.6		Classe 5.8		Classe 8.8	
		Carga máx. (N)	Momento de aperto máx. (N.mm)	Carga máx. (N)	Momento de aperto máx. (N.mm)	Carga máx. (N)	Momento de aperto máx. (N.mm)
M5	0,8	2 396	2 396	4 047	4 047	6 390	6 390
M6	1,0	3 392	4 020	5 728	6 874	9 045	10854
M8	1,25	6 176	9 882	10 431	16 690	16 470	26352
M10	1,5	9 787	19 575	16 530	33 060	26 100	52 200
M12	1,75	1 4226	34 141	24 025	57 661	37 935	91 044
M14	2,0	19 406	54 337	32 775	91 770	51 750	144 900
M16	2,0	26 494	84 780	44 745	143 184	70 650	226 080
M18	2,5	32 400	116 640	54 720	196 992	86 400	311 040
M20	2,5	41 643	165 375	69 825	279 300	110 250	441 000
M22	2,5	51 131	224 977	86 355	379 962	136 350	599 940
M24	3,0	59 569	285 930	100 605	482 904	158 850	762 480
M27	3,0	77 456	418 264	130 815	706 401	206 550	1 115 370
M30	3,0	94 669	568 014	159 885	959 310	252 450	1 514 700

Anexo H – Programas de calibração e medição na máquina de medição por coordenadas

Este anexo contém os programas desenvolvidos no *software* MCOSMOS para realizar a paletização dos punções na máquina de medição por coordenadas Mitutoyo CRYSTA-Apex S.

O programa “Sist. Coord. Eléctr.agw” define a origem do referencial no centro do plano de localização da primeira base EROWA.

O programa “Sist. Coord. Palete.agw” define a origem do referencial no centro da primeira base EROWA no plano médio entre o plano de localização da primeira e segunda base EROWA.

O programa “Eléctrodo Redondo.agw” mede o centro do 1º eléctrodo, torna-o como referência e mede o desvio/desfasamento de n eléctrodos em relação ao eléctrodo de referência.

O programa “Punç. Redondo Tipo B.agw” mede o centro do punção definido pelo utilizador para servir de referência e mede o desvio/desfasamento de n punções montados na palete em relação ao punção de referência.

Tabela H.1 – Desenhos técnicos dos punções superiores e inferiores do tipo B

Anexo	Programa	Página
H.1	Calibração do Sistema de Coordenadas do Eléctrodo	147
H.2	Calibração do Sistema de Coordenadas da Palete	149
H.3	Centragem dos Eléctrodos	151
H.4	Centragem de Punções Redondos Tipo B	153

H.1 – Calibração do Sistema de Coordenadas do Eléctrodo

No.	Function	Parameters
1	Troca ponta	1
2	Parametros CNC e liga CNC	Velocidade de avanço = 250.000 Velocidade medição = 5.000
3	Open protocol	GEOPAK\Mitutoyo\Mitutoyo Standard Report
4	CNC liga/desliga	Desl.
5	Linha de comentario	***** Mede ponto no topo do centrador para localizar o plano Z *****
6	Programmable stop	Montar o centrador. Premir OK e medir 1 ponto no topo [Z]
7	Ponto	Point_centrador_Z (1) Ponto compensado
8	Medição ponto manual	Numero de pontos = 1
9	Elemento terminado	
10	CNC liga/desliga	Liga
11	Formula de calculo	Z = PT[1]Z
12	Altura livre	Altura livre ligar Eixo Z = Z+15
13	Move para altura livre	
14	CNC liga/desliga	Desl.
15	Linha de comentario	***** Mede um círculo em torno do centrador para localizar o seu centro *****
16	Programmable stop	Premir OK. Medir 4 pontos em redor do centrador
17	Circulo	Centrar_centrador_XY (1) Media
18	Medição ponto manual	Numero de pontos = 4
19	Elemento terminado	
20	CNC liga/desliga	Liga
21	Formula de calculo	X = CR[1]X
22	Formula de calculo	Y = CR[1]Y
23	Move para altura livre	
24	Move maquina Movimento absoluto	X = X Y = Y Z = Z+15
25	Linha de comentario	***** Mede um círculo em torno do centrador para determinar o seu centro *****
26	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = diametro_centrador; Texto = Diâmetro do Centrador? Maximo = 50.000; Padrão = 1.000; Minimo = 1.000
27	Circulo	Centrar_Auto_centrador_XY (2) Media
28	Medição automatica circulo	No pontos = 6 Projection plane = XY plano X = X Y = Y Z = Z-2 Diametro = DIAMETRO_CENTRADOR
29	Elemento terminado	
30	Formula de calculo	X = CR[2]X
31	Formula de calculo	Y = CR[2]Y
32	Move maquina Movimento absoluto	X = X Y = Y Z = Z+100
33	CNC liga/desliga	Desl.
34	Linha de comentario	***** Determina plano da primeira base EROWA *****
35	Programmable stop	Retirar centrador. Premir OK e medir os 4 pontos da superfície de localização da EROWA
36	Plano	plano_EROWA (1) Media
37	Medição ponto manual	Numero de pontos = 4
38	Elemento terminado	
39	CNC liga/desliga	Liga
40	Formula de calculo	X = CR[2]X
41	Formula de calculo	Y = CR[2]Y
42	Formula de calculo	Z = PL[1]Z
43	Altura livre	Altura livre ligar Eixo Z = Z+30
44	Move para altura livre	
45	Move maquina MMC posição final	
46	CNC liga/desliga	Desl.
47	Linha de comentario	***** Determina uma linha paralela ao comprimento da paleta *****
48	Programmable stop	Colocar a régua. Medir 4 pontos na face lateral esquerda ao longo do seu comprimento
49	Linha	Eixo YY (1) Media
50	Medição ponto manual	Numero de pontos = 4
51	Elemento terminado	
52	CNC liga/desliga	Liga
53	Formula de calculo	X = CR[2]X
54	Formula de calculo	Y = CR[2]Y
55	Formula de calculo	Z = PL[1]Z
56	Move maquina MMC posição final	
57	Programmable stop	Retirar a régua
58	Move maquina Movimento absoluto	X = X Y = Y Z = Z+100
59	Linha de comentario	***** Define o sistema de coordenadas com origem no centro do centrador no plano de localização *****
60	Nivela plano	plano_EROWA (1) >XY plano, Origem no elemento
61	Origem	Centrar_Auto_centrador_XY (2) >XY
62	Alinhamento paralelo ao eixo	Eixo YY (1) Eixo Y
63	Grava sistema coord.	7100
64	Fim formato arquivo	
65	Move maquina MMC posição final	

H.2 – Calibração do Sistema de Coordenadas da Paleta

No.	Function	Parameters
1	Troca ponta	1
2	Parametros CNC e liga CNC	Velocidade de avanço = 250.000 Velocidade medição = 5.000
3	Open protocol	GEDPAK\Mitutoyo\Mitutoyo Standard Report
4	CNC liga/desliga	Dest.
5	Linha de comentario	***** Mede ponto no topo do centrador para localizar o plano Z *****
6	Programmable stop	Montar o centrador. Premir OK e medir 1 ponto no topo [Z]
7	Ponto	Ponto_centrador_Z (1) Ponto compensado
8	Medição ponto manual	Numero de pontos = 1
9	Elemento terminado	
10	CNC liga/desliga	Liga
11	Formula de calculo	Z = PT[1]Z
12	Altura livre	Altura livre ligar Eixo Z = Z+15
13	Move para altura livre	
14	CNC liga/desliga	Dest.
15	Linha de comentario	***** Mede um círculo em torno do centrador para localizar o seu centro *****
16	Programmable stop	Premir OK. Medir 4 pontos em redor do centrador
17	Circulo	Centrar_centrador_XY (1) Media
18	Medição ponto manual	Numero de pontos = 4
19	Elemento terminado	
20	CNC liga/desliga	Liga
21	Formula de calculo	X = CR[1]X
22	Formula de calculo	Y = CR[1]Y
23	Move para altura livre	
24	Move maquina Movimento absoluto	X = X Y = Y Z = Z+15
25	Linha de comentario	***** Mede um círculo em torno do centrador para determinar o seu centro *****
26	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = diametro_centrador; Texto = Diâmetro do Centrador? Maximo = 50.000; Padrao = 1.000; Minimo = 1.000
27	Circulo	Centrar_Auto_centrador_XY (2) Media
28	Medição automatica circulo	No pontos = 6 Projection plane = XY plano X = X Y = Y Z = Z-2 Diametro = DIAMETRO_CENTRADOR
29	Elemento terminado	
30	Formula de calculo	X = CR[2]X
31	Formula de calculo	Y = CR[2]Y
32	Move maquina Movimento absoluto	X = X Y = Y Z = Z+100
33	CNC liga/desliga	Dest.
34	Linha de comentario	***** Determina plano de localização de ambas as bases EROWA *****
35	Programmable stop	Retirar centrador. Premir OK e medir 2 pontos da superfície de localização de cada EROWA
36	Plano	plano_EROWA (1) Media
37	Medição ponto manual	Numero de pontos = 4
38	Elemento terminado	
39	CNC liga/desliga	Liga
40	Formula de calculo	X = CR[2]X
41	Formula de calculo	Y = CR[2]Y
42	Formula de calculo	Z = PL[1]Z
43	Altura livre	Altura livre ligar Eixo Z = Z+30
44	Move para altura livre	
45	Move maquina MMC posição final	
46	CNC liga/desliga	Dest.
47	Linha de comentario	***** Determina uma linha paralela ao comprimento da paleta *****
48	Programmable stop	Colocar a régua. Medir 4 pontos na face lateral esquerda ao longo do seu comprimento
49	Linha	EixoXX (1) Media
50	Medição ponto manual	Numero de pontos = 4
51	Elemento terminado	
52	CNC liga/desliga	Liga
53	Formula de calculo	X = CR[2]X
54	Formula de calculo	Y = CR[2]Y
55	Formula de calculo	Z = PL[1]Z
56	Move maquina MMC posição final	
57	Programmable stop	Retirar a régua
58	Move maquina Movimento absoluto	X = X Y = Y Z = Z+100
59	Linha de comentario	**** Define o sistema de coordenadas com origem no centro do centrador e rodado +90° em torno Z ****
60	Nivela plano	plano_EROWA (1) XY plano, Origem no elemento
61	Origem	Centrar_Auto_centrador_XY (2) XY
62	Alinhamento paralelo ao eixo	EixoXX (1) Eixo X
63	Grava sistema coord.	7200
64	Fim formato arquivo	
65	Move maquina MMC posição final	

H.3 – Centragem dos Eléctrodos

No.	Function	Parameters
1	Troca ponta	1
2	Ler sist. coordenad.	7100
3	Parametros CNC e liga CNC	Velocidade de avanço = 160.000 Velocidade medição = 16.000
4	Move maquina Movimento absoluto	X = 0.000 Y = 0.000 Z = 200.000
5	Formula de calculo	n_elect = 1
6	Formula de calculo	AVX = 0
7	Formula de calculo	AVY = 0
8	Linha de comentario	**** Directoria dos ficheiros ****
9	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = n_obra; Texto = Número da Obra Maximo = 1000000; Padrao = 2017; Minimo = 1
10	Create directory	C:\Pos-Processador\@(n_obra)\Eléctrodos
11	Linha de comentario	**** Dados de entrada ****
12	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = Dia; Texto = Diâmetro do Eléctrodo Maximo = 40; Padrao = 1; Minimo = 1
13	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = alt_toque; Texto = Altura de Toque Maximo = 5; Padrao = 3; Minimo = 2
14	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = n_total; Texto = Número Total de Eléctrodos Maximo = 50; Padrao = 1; Minimo = 1
15	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = dx; Texto = Desvio xx Maximo = 5.000; Padrao = 0.000; Minimo = -5.000
16	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = dy; Texto = Desvio yy Maximo = 5.000; Padrao = 0.000; Minimo = -5.000
17	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = Ni; Texto = Número Inicial do Eléctrodo Maximo = 30; Padrao = 1; Minimo = 1
18	Formula de calculo	n_final = n_total+Ni+1
19	Move maquina Movimento absoluto	X = AVX Y = AVY Z = 130.000
20	Formula de calculo	n_elect = Ni
21	Linha de comentario	***** Mede ponto no topo do eléctrodo para localizar o plano Z *****
22	Ponto	Ponto [1] Ponto compensado
23	Medição ponto Sobre peça com direcção	X = AVX+dx Y = AVY+dy Z = 110.000 Angulo X = 90:00:00 Angulo Y = 90:00:00 Angulo Z = 180:00:00
24	Elemento terminado	
25	Formula de calculo	Z = PT[1]Z
26	Move maquina Movimento absoluto	X = AVX+DIA Y = AVY Z = Z-3
27	Linha de comentario	***** Mede um circulo em torno do eléctrodo para determinar o seu centro *****
28	Circulo	Circulo [1] Media
29	Medição automatica circulo	No pontos = 8 Projection plane = XY plano X = AVX Y = AVY Z = Z-alt_toque Diametro = Dia+2.5
30	Elemento terminado	
31	Formula de calculo	POS_X = CR[1]X
32	Formula de calculo	POS_Y = - CR[1]Y
33	Linha de comentario	***** Mede 1 ponto no topo do eléctrodo para determinar plano de topo *****
34	Ponto	Ponto [2] Ponto compensado
35	Medição ponto Sobre peça com direcção	X = POS_X+dx Y = POS_Y+dy Z = 110.000 Angulo X = 90:00:00 Angulo Y = 90:00:00 Angulo Z = 180:00:00
36	Elemento terminado	
37	Linha de comentario	***** Define o sistema de coordenadas com origem no centro do eléctrodo e no plano de topo *****
38	Origem	Circulo [1] XY
39	Origem	Ponto [2] Z
40	Linha de comentario	***** Ciclo de medição de centros de n_total eléctrodos em relação ao 1º eléctrodo *****
41	Inicio loop	No. of executions = N_TOTAL
42	Ponto	Ponto [1] Ponto compensado
43	Medição ponto Sobre peça com direcção	X = AVX+dx Y = AVY+dy Z = 30.000 Angulo X = 90:00:00 Angulo Y = 90:00:00 Angulo Z = 180:00:00
44	Elemento terminado	
45	Formula de calculo	Z = PT[1]Z
46	Move maquina Movimento absoluto	X = AVX+DIA Y = AVY Z = Z-3
47	Circulo	Circulo [1] Media
48	Medição automatica circulo	No pontos = 8 Projection plane = XY plano X = AVX Y = AVY Z = Z-alt_toque Diametro = Dia+2.5
49	Elemento terminado	
50	Formula de calculo	POS_X = CR[1]X
51	Formula de calculo	POS_Y = - CR[1]Y
52	Ponto	Ponto [2] Ponto compensado
53	Medição ponto Sobre peça com direcção	X = POS_X+dx Y = POS_Y+dy Z = 30.000 Angulo X = 90:00:00 Angulo Y = 90:00:00 Angulo Z = 180:00:00
54	Elemento terminado	
55	Formula de calculo	POS_Z = PT[2]Z
56	Linha de comentario	***** Grava as coordenadas X, Y e Z do eléctrodo n_elect *****
57	Especificação formato arquivo	0,1,1,1 C:\Pos-Processador\@(n_obra)\Eléctrodos\@(n_elect).asc, 0
58	Tolerance Tolerance variable	POS_X Nom. = 0.000 Tol. Sup. = 0.000 Tol. Inf. = 0.000
59	Tolerance Tolerance variable	POS_Y Nom. = 0.000 Tol. Sup. = 0.000 Tol. Inf. = 0.000
60	Tolerance Tolerance variable	POS_Z Nom. = 0.000 Tol. Sup. = 0.000 Tol. Inf. = 0.000
61	Fim formato arquivo	
62	Se	Se N_ELECT = N_FINAL Numero de decimais = 0
63	Vai para	1
64	Formula de calculo	n_elect = n_elect+1
65	Move maquina Movimento absoluto	X = 0.000 Y = 0.000 Z = 200.000
66	Programmable stop	Trocar eléctrodo!
67	Fim loop	
68	Define Label	1
69	Move maquina Movimento absoluto	X = 0.000 Y = 0.000 Z = 200.000

H.4 – Centragem de Punções Redondos Tipo B

No.	Function	Parameters
1	Troca ponta	1
2	Ler sist. coordenad.	7200
3	Linha de comentario	**** Dados de entrada ****
4	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = n_obra; Texto = Nª da Obra Maximo = 40; Padrao = 1; Minimo = 1
5	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = n_palette; Texto = Nª da Palette Maximo = 3; Padrao = 1; Minimo = 1
6	Create directory	C:\Pos-Processador\@n_obra
7	Especificação formato arquivo	0, 1, 1, 1 C:\Pos-Processador\@n_obra\Palette_@n_palette.txt, 1
8	Open protocol	GEDPAK\Mitoyo\Mitoyo Standard Report C:\Pos-Processador\Palette-Rd
9	Parametros CNC e liga CNC	Velocidade de avanço = 200.000 Velocidade medição = 5.000
10	Altura livre	Altura livre ligar Eixo Z = 115.000
11	Move maquina Movimento absoluto	X = 0.000 Y = 0.000 Z = 115.000
12	Formula de calculo	AvX = 52
13	Formula de calculo	AvY = -17
14	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = Dia; Texto = Diámetro do Punção Maximo = 40.000; Padrao = 8.000; Minimo = 1.000
15	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = FILA1; Texto = Nª Peças da 1ª Fila Maximo = 13; Padrao = 7; Minimo = 0
16	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = n; Texto = Nª Punção p/ Décalage Maximo = 13; Padrao = 7; Minimo = 1
17	Formula de calculo	AvX_zero = AvX+30*(n-1)
18	Entrada de variavel Entrada simples	Nome da variavel = FILA2; Texto = Nª Peças da 2ª Fila Maximo = 13; Padrao = 1; Minimo = 0
19	Se	Se FILA1 = 0 Numero de decimais = 0
20	Vai para	1
21	Linha de comentario	**** Décalage do punção escolhido (n) ****
22	Move maquina Movimento absoluto	X = AvX_ZERO Y = AvY Z = 115.000
23	Ponto	Ponto (1) Ponto compensado
24	Medição ponto Sobre peça com direção	X = AvX_ZERO Y = AvY Z = 115.000 Angulo X = 90.00.00 Angulo Y = 90.00.00 Angulo Z = 180.00.00
25	Elemento terminado	
26	Formula de calculo	ALT = PT[1]Z
27	Plano	Plano (1) Meda
28	Medição automatica plano	No pontos = 3 Projection plane = XY plano X = AvX_ZERO Y = AvY Z = ALT+1 Diámetro = DIA*3.5
29	Elemento terminado	
30	Circulo	Circulo (1) Meda
31	Medição automatica circulo	No pontos = 6 Projection plane = XY plano X = AvX_ZERO Y = AvY Z = ALT-2 Diámetro = Dia+2
32	Elemento terminado	
33	Nivela plano	Plano (1) XY plano, Origem no elemento
34	Origem	Circulo (1) XY
35	Origem	Plano (1) Z
36	Formula de calculo	AvX = -30*(n-1)
37	Formula de calculo	AvY = 0
38	Altura livre	Altura livre ligar Eixo Z = 20.000
39	Linha de comentario	**** Décalage dos punções da 1ª fila ****
40	Inicio loop	No. of executions = FILA1
41	Move maquina Movimento absoluto	X = AvX Y = AvY Z = 20.000
42	Ponto	Ponto (1) Ponto compensado
43	Medição ponto Sobre peça com direção	X = AvX Y = AvY Z = 20.000 Angulo X = 90.00.00 Angulo Y = 90.00.00 Angulo Z = 180.00.00
44	Elemento terminado	
45	Formula de calculo	ALT = PT[1]Z
46	Plano	Plano (1) Meda
47	Medição automatica plano	No pontos = 3 Projection plane = XY plano X = AvX Y = AvY Z = ALT+1 Diámetro = DIA*3.5
48	Elemento terminado	
49	Circulo	Circulo (1) Meda
50	Medição automatica circulo	No pontos = 6 Projection plane = XY plano X = AvX Y = AvY Z = ALT-2 Diámetro = Dia+2
51	Elemento terminado	
52	Formula de calculo	POS_X = CR[1]X
53	Formula de calculo	POS_Y = CR[1]Y
54	Formula de calculo	POS_Z = PT[1]Z +3
55	Tolerance Tolerance variable	POS_X Nom. = 0.000 Tol. Sup. = 0.000 Tol. Inf. = 0.000
56	Tolerance Tolerance variable	POS_Y Nom. = 0.000 Tol. Sup. = 0.000 Tol. Inf. = 0.000
57	Tolerance Tolerance variable	POS_Z Nom. = 0.000 Tol. Sup. = 0.000 Tol. Inf. = 0.000
58	Formula de calculo	AvX = AvX+30
59	Fim loop	
60	Define Label	1
61	Linha de comentario	**** Décalage dos punções da 2ª fila ****
62	Se	Se FILA2 = 0 Numero de decimais = 0
63	Vai para	2
64	Formula de calculo	AvY = 34
65	Formula de calculo	AvX = 30*(n-1)
66	Inicio loop	No. of executions = FILA2
67	Move maquina Movimento absoluto	X = AvX Y = AvY Z = 20.000
68	Ponto	Ponto (1) Ponto compensado
69	Medição ponto Sobre peça com direção	X = AvX Y = AvY Z = 20.000 Angulo X = 90.00.00 Angulo Y = 90.00.00 Angulo Z = 180.00.00
70	Elemento terminado	
71	Formula de calculo	ALT = PT[1]Z
72	Plano	Plano (1) Meda
73	Medição automatica plano	No pontos = 3 Projection plane = XY plano X = AvX Y = AvY Z = ALT+1 Diámetro = DIA*3.5
74	Elemento terminado	
75	Circulo	Circulo (1) Meda
76	Medição automatica circulo	No pontos = 6 Projection plane = XY plano X = AvX Y = AvY Z = ALT-2 Diámetro = Dia+2
77	Elemento terminado	
78	Formula de calculo	POS_X = CR[1]X
79	Formula de calculo	POS_Y = CR[1]Y
80	Formula de calculo	POS_Z = PT[1]Z +3
81	Tolerance Tolerance variable	POS_X Nom. = 0.000 Tol. Sup. = 0.000 Tol. Inf. = 0.000
82	Tolerance Tolerance variable	POS_Y Nom. = 0.000 Tol. Sup. = 0.000 Tol. Inf. = 0.000
83	Tolerance Tolerance variable	POS_Z Nom. = 0.000 Tol. Sup. = 0.000 Tol. Inf. = 0.000
84	Formula de calculo	AvX = AvX-30
85	Fim loop	
86	Define Label	2
87	Altura livre	Altura livre desliga
88	Move maquina MMC posição final	
89	Fim formato arquivo	
90	Close protocol	