



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Projecto de sistema de fixação de punções para
quinadoras hidráulicas**

André Manuel Correia Ferreira



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Projecto de sistema de fixação de punções para quinadoras hidráulicas

André Manuel Correia Ferreira

1080792

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP e Co-Orientada pelo Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP

Júri

Presidente	Doutor Alexandre Gonçalves Santos Santiago Sottomayor <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Orientador	Doutor Francisco José Gomes da Silva <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Co-Orientador	Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Vogal	Doutora Maria Teresa Ribeiro Pereira <i>Professor Adjunto, Escola Superior de Estudos Industriais e de Gestão</i>

Agradecimentos

Ao meu orientador Doutor Francisco Gomes Silva, pela orientação dada em todo o trabalho desenvolvido e pela sua grande paciência em transmitir os conhecimentos necessários para a realização do mesmo. Ainda agradecer por todo o encorajamento e confiança dada para a conclusão do trabalho, e todos as sabedorias passadas que irão ser uma mais-valia no futuro profissional e pessoal.

Ao meu co-orientador Doutor Raúl Campilho agradeço toda a disponibilidade demonstrada, sugestões técnicas, informações e contribuição para a realização de toda a Dissertação.

À minha mãe por ser a peça fundamental, por toda a força e paciência que demonstrou ao longo de toda a minha vida, agradecer que sem ela, nada disto seria possível ser realizado.

A todos os meus amigos e pessoas que contribuíram de alguma maneira para a realização desta Dissertação, da minha formação académica e pessoal.

Resumo

A indústria ligada à conformação de chapa por quinagem representa uma percentagem importante no cômputo global da indústria metalomecânica global, devido às inúmeras empresas ligadas à produção de mobiliário metálico, equipamento para a agricultura, semi-reboques para camiões, material ferroviário circulante, entre muitos outros.

Este elevado volume de negócios deu origem a algumas empresas dedicadas à produção de máquinas essencialmente para o corte e quinagem de chapa, tais como a GUIFIL, ADIRA e RICO.

As ferramentas para as quinadoras são quase sempre importadas de mercados como o Italiano ou o Holandês. Estes países, entre outros, possuem sistemas de fixação das ferramentas (punções) devidamente patenteados, o que impede que os mesmos possam ser reproduzidos por outras empresas sem autorização e pagamento dos respectivos direitos.

Assim, e para evitar a permanente saída de divisas do país para a aquisição de sistemas não muito complexos e capazes de ser produzidos em Portugal, a empresa RICO, lançou o desafio da criação de um novo sistema de fixação, respeitando os princípios de segurança.

Este trabalho pretendeu dar seguimento a esse desejo da empresa, criando um sistema próprio que irá passar a ser produzido em Portugal, evitando a permanente aquisição de produtos no estrangeiro, com o conseqüente acréscimo de preço devido ao registo de direitos. O trabalho foi levado a cabo com sucesso, existindo agora um sistema de fixação dos punções inovador registado e produzido em Portugal, que demonstrou ser tão eficaz como as soluções existentes a um custo menor.

Palavras-chave

Quinadoras, Quinagem, Punções, Sistemas de Fixação dos Punções.

Abstract

The industries of sheet forming by bending represent an important percentage in the metalworking industry's global market, due to numerous companies related to the production of metal furniture, agricultural equipment, semi-trailers for trucks, railway stock material, among many others.

This high turnover gave rise to some companies dedicated to the production of machines essentially for cutting and bending, such as GUIFIL, ADIRA and RICO.

The tools for the bending presses are almost always imported from markets such as Italian or Dutch. These countries, among others, have tool clamping systems (punches) properly patented, which prevents them to be reproduced by other companies without authorization and payment of the respective royalties.

Thus, and in order to avoid the exit of capital from the country for the acquisition of very complex systems that could be produced in Portugal instead, the company RICO, launched the challenge of creating a new clamping system, respecting the security principles.

This work intended to follow up on this company's desire, creating a system that will be produced in Portugal, avoiding the permanent acquisition of products abroad, with the consequent increase in price due to registration rights. The work was carried out with success, and there is now an innovative system of punches patented and produced in Portugal, which proved to be as effective as existing at lower cost solutions.

Keywords

Press-Break machines, Sheet metal breaking, Punches, Press-break tool clamping systems

Lista de Símbolos e Abreviaturas

Lista de Símbolos:

a1 – Constante determinada através do *MATLAB*

a2 - Constante determinada através do *MATLAB*

a3 - Constante determinada através do *MATLAB*

a4 - Constante determinada através do *MATLAB*

C - Carbono

C' - Coeficiente do plano de força de tensão

d – Profundidade de corte

d_w – Abertura da matriz

E – Módulo de *Young* – Módulo de elasticidade do material.

E' - Módulo de *Young* no plano de deformação

ε - Deformação

F – Força

F_b – Força de flexão

g – Gramas

h – Altura

H – Comprimento desde a superfície superior do suporte ate ao degrau que permite a inclinação

k – Constante de quinagem

K_{air} – Constante de quinagem ao ar

K_{mola} – Constante de rigidez da mola

K_{v-die} – Correção ao k_{air}

L_0 – Segmento de recta

L_1 – Arco correspondente a L_0 após conformação

n – Expoente relativo ao encruamento

N – Newton

\emptyset - Diâmetro

Pa – Pascal

r_i – Raio interior

r_{imin} – Raio de curvatura admissível

r_m – Raio mínimo de conformação

R_m – Tensão de Rotura

R_u – Raio de curvatura no plano neutro em carga

s – Espessura da chapa

t – Espessura da chapa

V – Distância da linha considerada à linha neutra

v - Velocidade

w – Largura da chapa

α – Ângulo de quinagem

θ – Ângulo de conformação

σ - Tensão

Lista de Abreviaturas:

A_{max} – Aperto máximo

A_{min} – Aperto mínimo

CFRP – *Carbon Fiber Reinforced Polymer* – Carbono reforçado com fibra de vidro

CNC – Controlo numérico computadorizado

CO₂ – Dióxido de carbono

Cr – Crómio

DIN - *Deutsches Institut für Normung* - Instituto Alemão de Normalização

EN – *European Norm* – Norma Europeia

F_{max} – Folga máxima

F_{min} – Folga mínima

HB – *Brinell Hardness* – Dureza Brinell

HRC – Rockwell C Hardness– Dureza Rockwell C

ISO - *International Organization for Standardization* – Organização para normalização

Mo - Molibénio

PROMECAM – Punções estilo europeu

PTFE – Politetrafluoretileno

Glossário de Termos

Stroke length – Curso do avental móvel – Deslocamento do avental superior durante o movimento, ajustável nas quinadoras hidráulicas.

Open height – Abertura – A distância entre o avental superior e o avental inferior, sem ferramentas.

Overall length – Comprimento total – Distância de uma extremidade do avental à outra.

Distance between housings – Distância entre montantes – Permite a passagem livre do material entre os montantes.

Throat depth – Distância do colo de cisne – A distância que determina o comprimento máximo de flange que pode ser quinado, quando é necessário utilizar o comprimento total da máquina.

Repeatability – Repetibilidade – A precisão que um avental tem, em garantir em diferentes actuações sempre o mesmo ângulo de quinagem, para um mesmo material.

Mechanical stops – Paragens mecânicas – Usados em alguns tipos de quinadoras hidráulicas para garantir a repetibilidade. A paragem é definida no interior ou exterior do cilindro para definir a profundidade/posição de paragem.

Coining/bottom bending – Cunhagem / Quinagem interior – Método de flexão onde o material deve tomar a posição do punção.

Air bending – Quinagem ao ar – Método de flexão em que o material deve tomar a forma através da profundidade do punção.

Bend allowance – Montante de compensação considerado para o estiramento do material no ponto de flexão de modo a produzir a dimensão da flange adequada.

Inside radius – Raio interior – O raio no interior da chapa quinada.

Bending under load – Quinagem em carga – Capacidade de ajustar o ângulo de curvatura enquanto a máquina está a exercer carga.

Bend angle – Ângulo de curvatura – Ângulo entre duas flanges sucessivas

Flange length – Comprimento de flange – Distância do material a partir da extremidade da chapa até à curvatura.

Deflection – Deflexão – Tendência dos aventais se deformarem, quando em plena carga.

Back gauge position – A distância entre a frente dos esbarros para o centro da abertura do “V”, a ser utilizado na matriz.

Back gauge retraction – Sistema de retracção dos esbarros, logo após os calcadores terem pressionado a chapa contra a mesa da máquina, garantindo a precisão de posicionamento.

Axis of brakes – Eixos de esbarramento – Terminologia usada para descrever as funções de quinagem relacionados para uma dimensão numérica controlada por um computador.

Tang – Parte sobre o punção que encaixa no suporte.

Knife punch – Punção tipo faca – Punção com ângulo agudo, normalmente entre 28° e 45°.

Gooseneck punch – Punção pescoço de cavalo – Usado essencialmente para a concepção de canais ou caixas de profundidade ou peças com uma sequência de quinagem complexa e linhas de quinagem bastante próximas.

Twin vee die – Matriz de duplo “V” - Combinação de duas aberturas em “V” numa mesma matriz.

Four-way die – Matriz com quatro “V” – Matriz especial com aberturas que foram maquinadas no centro das quatro faces.

Punch holder – Suporte de punções – Sistema utilizado para fixar/segurar o punção, fixado no intermediário, que fixa no avental superior. Os intermediários tem a característica de compensar a deformação do avental.

Quick clamp punch holder/die holder – Suporte de fixação rápida de punções e matrizes – Sistema que permite a libertação e colocação rápida de punções e matrizes, podendo ser mecânica, pneumática ou hidráulica.

European punch - Punção estilo europeu – Punção que o seu ponto de fixação é deslocado da linha de centro de transmissão da força através do intermediário para o punção. Estes tipos de punção apresentam tolerâncias mais rigorosas que os de estilo americano

American punch – Punção estilo americano – Punção em que o ponto de fixação está na mesma linha de direcção da força.

Multiple-opening lower die – O mesmo que *four-way die*.

Lower die – Matriz inferior – Ferramenta inferior do punção utilizada para formar ângulos de curvatura.

Safety tang – Dispositivo adicional que permite o punção ficar apoiado no suporte, quando este é libertado.

Crowning device – Sistema mecânico que compensa automaticamente a deformação natural dos aventais. Este pode ser controlado por calços, intermediários, ou um dispositivo montado no avental inferior, mesa de bombeio. Estes sistemas podem ser controlados manualmente ou através de computador.

Safety enhancements – Melhorias de segurança – As máquinas são equipadas com certos itens de segurança de série. As características adicionais podem ser comprados para melhorar a segurança dos operadores. A escolha destes dispositivos adicionais devem ser regidos por segurança do operador e os fins para os quais a quinadora será usada.

Front support arm – Braço de suporte dianteiro – Dispositivo montado na parte da frente da quinadora para suportar o material a quinar, quando se trata de formatos de maior dimensão e peso.

Deflection compensation – Compensação de deflexão – É realizado para ultrapassar os problemas de deflexão. É uma maneira de inserir o material (calço), sob a matriz inferior conforme o caso. Outra é a utilização de um *crowning device*.

Índice de Figuras

Figura 1 - Quinagem de chapa plana	5
Figura 2 - Perfil conformado por quinagem (Spoonworld)	6
Figura 3 - Chapa conformada por quinagem (Frecontechologies)	6
Figura 4 - Posições relativas da chapa a quinar e das ferramentas antes e durante a quinagem (Bessa Pacheco, 1992)	7
Figura 5 – Exemplificação do comportamento da linha neutra de um corpo solicitado por uma força axial e um momento flector antes (a) e depois (b) da aplicação dos mesmos (IST,2008)	8
Figura 6 – Distribuição esquemática das deformações para um esforço combinado de tracção e flexão (Z. Marciniak, J. L. Duncan, S. J. Hu, 2002).....	9
Figura 7 - Distribuições de tensão-deformação em corte transversal durante flexão. a) trabalho real do material na zona plástica. b) material de trabalho plástico ideal. Condição de tensão e deformação após <i>springback</i> também estão representados (Kurt Lange, 1985).....	9
Figura 8 – Comportamento observado num material com deformação plástica solicitado à tracção uniaxial (Armando Vilaça, 2012).....	10
Figura 9 - Princípio de quinagem - o ângulo de quinagem α depende da posição relativa dos 3 pontos de contacto (1,2 e 3) (Bessa Pacheco, 1992)	10
Figura 10 - Tabela de forças de quinagem em função da espessura e do 'V' (Rolleri).....	11
Figura 11 - Tamanho e forma da matriz em forma de V (Heinz Tschaetsch, 2006)	13
Figura 12 - Elementos principais de uma quinadora (Custompartnet).....	16
Figura 13 - Principais componentes de uma quinadora mecânica (Bessa Pacheco, 1992).....	19
Figura 14 - Principais componentes de uma quinadora hidráulica (Bessa Pacheco, 1992)	20
Figura 15 - Quinadora Ascendente - Sistema de controlo da profundidade de quinagem (Bessa Pacheco, 1992).....	21
Figura 16 - Quinadora Ascendente - Deformação típica dos aventais (Bessa Pacheco, 1992)	21
Figura 17 - Princípio de manutenção do paralelismo por veio de torção (Bessa Pacheco, 1992)	22
Figura 18 - Princípio de sincronização hidráulica aproximada (Bessa Pacheco, 1992)	23
Figura 19 - Principais componentes de uma quinadora moderna de precisão (Bessa Pacheco, 1992)	24
Figura 20 - Quinadora hidráulica com CNC (Directindustry).....	25
Figura 21 - Componentes de uma quinadora (vista frontal) (Bruno Martins, 2012)	27
Figura 22 - Componentes de uma quinadora (vista traseira) (Bruno Martins, 2012)	28
Figura 23 - Direção de laminagem e fissuras que podem acontecer na quinagem (Francisco Silva, 2007) 32	
Figura 24 - Variação de dureza numa chapa conformada (Francisco Silva, 2007)	33
Figura 25 - Vários tipos de punções e respectivas quinagens (Bessa Pacheco, 1992)	34
Figura 26 - Vários tipos de punções e matrizes (Anak)	34
Figura 27 - Punções giratórios (Kalpakjian, 2003).....	34
Figura 28 - Punções poliméricos (Kalpakjian, 2003)	35
Figura 29 - Matriz de "V" múltiplos (Gstatic).....	35
Figura 30 - Quinagem em U (IST, 2008)	36

Figura 31 - Quinagem de flange com cunha de arrasto (IST, 2008)	37
Figura 32 - Quinagem rotativa (IST, 2008)	38
Figura 33 - Quinagem a fundo - Contacto entre a chapa e as faces das ferramentas (Bessa Pacheco, 1992)	39
Figura 34 - Intermediário montado no avental superior da quinadora, juntamente com o sistema de fixação e punção montados (Rolleri 1)	40
Figura 35 – Sistemas de compensação de deformações dos aventais (Comeq, 2002)	41
Figura 36 - Mesa de bombeio automática (Wila 1)	42
Figura 37 - Mesa de bombeio manual (Wila 1)	42
Figura 38 – Exemplo de quinagens opostas (Bessa Pacheco, 1992)	43
Figura 39 - Exemplo de ferramenta dupla (Bessa Pacheco, 1992)	44
Figura 40 - Tipos de fecho de abas (Bessa Pacheco, 1992)	44
Figura 41 - Sequência de quinagem (Bessa Pacheco, 1992)	45
Figura 42 – Transmissão da força aplicada do avental até ao punção	46
Figura 43 - Nomenclatura das ferramentas (Comeq, 2002)	47
Figura 44 - Nomenclatura das ferramentas (Comeq, 2002)	47
Figura 45 - Ferramenta tipo faca, para raios de quinagem apertados (Comeq, 2002)	47
Figura 46 - Suporte com faixa de pressão em plástico, que garante a fixação de ferramentas curtas (Rolleri 2)	49
Figura 47 - Sistema de fixação <i>TEDA</i> , vista em corte (Giavelli 2008)	49
Figura 48 - Sistema normalizado (Rolleri 3)	51
Figura 49 - Sistema normalizado KDS (Rolleri 3)	51
Figura 50 - Sistema ROL 100 (Vista lateral) (Rolleri 4)	52
Figura 51 - Sistema ROL 100 (Vista inferior) (Rolleri 4)	52
Figura 52 - Sistema ROL 100 manual (Rolleri 4)	52
Figura 53 - Sistema ROL 100 pneumático (Rolleri 4)	53
Figura 54 - Sistema ROL 1 manual (Rolleri 5)	53
Figura 55 - Sistema ROL 1 pneumático (Rolleri 5)	54
Figura 56 - Sistema ROL 1 hidráulico (Rolleri 5)	54
Figura 57 - Sistema ROL 1 manual KDS (Rolleri 5)	54
Figura 58 - Sistema ROL 4 manual KDS (Rolleri 6)	55
Figura 59 - Sistema ROL 4 hidráulico KDS (Rolleri 6)	55
Figura 60 - Sistema W-ROL PN pneumático (Rolleri 7)	56
Figura 61 - Sistema W-ROL PN fixo no avental superior (Rolleri 7)	56
Figura 62 - Sistema W-ROL PN fixo no avental superior (Rolleri 7)	56
Figura 63 - Sistema W-ROL PN (vista lateral) (Rolleri 7)	56
Figura 64 - Tipos de <i>Safety Tang</i> admissíveis no sistema ROL 3 (Rolleri 8)	57
Figura 65 - Sistema ROL 3 (Rolleri 8)	57
Figura 66 - Sistema ROL 2 (Rolleri 9)	58
Figura 67 - Sistema ROL 2 (Rolleri 9)	58
Figura 68 - Sistema ROL 2 (Rolleri 9)	58

Figura 69 - Sistema <i>movable die clamps</i> fixo no avental inferior (Rolleri 10)	59
Figura 70 - Sistema <i>movable die clamps</i> (Rolleri 10)	59
Figura 71 - Punção <i>WILA Safety Click</i> (Westbrook-eng).....	60
Figura 72 - Sistema <i>New Standard Premium</i> (Wila 2).....	60
Figura 73 - Vista lateral para diferentes tipos de punções do sistema <i>New Standard Premium</i> (Wila 2)...	61
Figura 74 - Vista lateral para diferentes tipos de punções do sistema <i>New Standard Premium</i> (Wila 2)...	61
Figura 75 - Sistema <i>New Standard Pro</i> (Wila 3).....	61
Figura 76 - Vista lateral para diferentes tipos de punções do sistema <i>New Standard Pro</i> (Wila 3).....	62
Figura 77 - Vista lateral para diferentes tipos de punções do sistema <i>New Standard Pro</i> (Wila 3).....	62
Figura 78 - Relação entre a profundidade de cementação, temperatura, e tempo (horas) para os vários métodos de cementação (SSAB, 1998).....	67
Figura 79 - Elementos que compõem a interface avental – punção (Grabcad).....	72
Figura 80 - Sistema de fixação <i>standard</i> (Grabcad)	72
Figura 81 - Vista lateral do sistema <i>standard</i> e movimento do suporte (Grabcad)	73
Figura 82 - Esquema de funcionamento sistema de fixação manual da <i>TEDA</i> (Giavelli, 2008)	74
Figura 83 - Sequência de entrada e aperto do punção (Teda).....	75
Figura 84 - Sequência de desaperto e saída do punção (Teda)	76
Figura 85 - Vista em corte do sistema de aperto no intermediário e respectivos elementos que permitem a rotação do suporte (Giavelli, 2008)	76
Figura 86 - Esboço de um possível sistema de fixação	77
Figura 87 - Mola de lâmina convencional das suspensões dos automóveis.....	78
Figura 88 - Esboço do sistema de mola de lâmina e do suporte	78
Figura 89 - Suporte_1	79
Figura 90 - Suporte_1 punção apoiado no dente	79
Figura 91 - Suporte_1: localização da mola de lâminas.....	80
Figura 92 - Dente de engate no punção do Suporte_1.....	80
Figura 93 - Suporte _2	81
Figura 94 - Suporte_2: dente de engate no punção e respectiva mola de lâmina.....	81
Figura 95 - Mola de lâmina do Suporte_3	82
Figura 96 - Suporte_4	83
Figura 97 - Vista em corte do sistema de mola de lâmina e respectivo dente de engate no punção do Suporte_4	83
Figura 98 - Sistema de mola de lâmina do Suporte_4	84
Figura 99 - Cálculo da espessura máxima para o suporte	85
Figura 100 - Suporte_5	86
Figura 101 - Suporte_5: elementos que compõem o sistema de fixação.....	86
Figura 102 - Vista em corte do Suporte_5, que permite a rotação do mesmo através de casquilhos esféricos.....	87
Figura 103 - Vista em corte do Suporte_5 e respectiva alteração da mola de lâmina	87

Figura 104 - Ponto de contacto do punção na mola de lâmina e respectiva direcção do movimento	88
Figura 105 - Punção apoiado no dente da mola de lâmina	88
Figura 106 - Pré-retirada do punção do sistema de fixação	89
Figura 107 - Dente de apoio fixo no <i>Safety Tang</i> do punção	89
Figura 108 - <i>Zoom</i> do dente de apoio fixo no <i>Safety Tang</i> do punção	90
Figura 109 - Funcionamento do Suporte_5	90
Figura 110 - Funcionamento do Suporte_5	91
Figura 111 - Funcionamento do Suporte_5	91
Figura 112 - Esboço de um possível sistema de fixação utilizando mola helicoidal	92
Figura 113 - Esboço de um possível sistema de fixação utilizando mola helicoidal	93
Figura 114 - Esboço em 3D, do mesmo sistema de fixação	93
Figura 115 - Esboço de um sistema de fixação com a utilização de mola helicoidal	94
Figura 116 - Suporte_2 - mola helicoidal.....	94
Figura 117 - Suporte_3	95
Figura 118 - Suporte_3	96
Figura 119 - Suporte_3	96
Figura 120 - Suporte_3.1	97
Figura 121 - Suporte_3.1	97
Figura 122 - Funcionamento do Sistema_3.1	98
Figura 123 - Esboço de um possível dente de engate no <i>Safety Tang</i> do punção com a utilização de mola helicoidal	99
Figura 124 - Suporte_4: dente de engate no <i>Safety Tang</i> do punção.....	99
Figura 125 - Suporte_4: dente de engate no <i>Safety Tang</i> do punção.....	100
Figura 126 - Suporte_5	100
Figura 127 - Suporte_5: dente de engate no <i>Safety Tang</i> do punção.....	101
Figura 128 - Funcionamento do Suporte_5: Engate	101
Figura 129 - Funcionamento do Suporte_5: Fixação	102
Figura 130 - Funcionamento do Suporte_5: Desengate	102
Figura 131 - Suporte_5 - Mola de lâmina	104
Figura 132 - Suporte_5 - Mola helicoidal.....	104
Figura 133 - Antes e depois do Suporte_5 - Mola de lâmina.....	106
Figura 134 - Pontos críticos Suporte_5 - Mola de lâmina.....	107
Figura 135 - Pontos corrigidos no Suporte_5 - Mola de lâmina	107
Figura 136 – Aplicação de rasgo no Suporte_5 - Mola de lâmina.....	108
Figura 137 - Aplicação de rasgo no Suporte_5 - Mola de lâmina	108
Figura 138 - Sistema de fixação uniforme no Suporte_5 - Mola de lâmina.....	109
Figura 139 - Posição das roscas para os parafusos sem cabeça - Suporte_5 - Mola de lâmina.....	109
Figura 140 - Vista em corte do furo de localização dos parafusos sem cabeça - Suporte_5 - Mola de lâmina.....	110
Figura 141 - Local a ser alterado para fácil aperto do parafuso sem cabeça - Suporte_5 - Mola de lâmina.....	110

Figura 142 - Alteração realizada no Suporte_5 - Mola de lâmina.....	111
Figura 143 - Alteração do dente de engate no <i>Safety Tang</i> do punção	111
Figura 144 - Posição de fixação do punção Suporte_5 - Mola de lâmina	112
Figura 145 - Punção apoiado no dente de engate no <i>Safety Tang</i> do punção.....	113
Figura 146 - Zona chanfrada de difícil realização - Suporte_5 - Mola de lâmina	113
Figura 147 - Aspecto final do suporte na zona chanfrada - Suporte_5 - Mola de lâmina	114
Figura 148 - Zona de difícil maquinagem - Suporte_5 - Mola de lâmina	114
Figura 149 - Altura necessária do chanfro - Suporte_5 - Mola de lâmina	115
Figura 150 - Alteração efectuada - Suporte_5 - Mola de lâmina	115
Figura 151 - Vista lateral da evolução do Suporte_5 - Mola de lâmina	116
Figura 152 - Cabeça dos parafusos fora do limite de fronteira do Suporte_5 - Mola de lâmina	116
Figura 153 - Vista em corte - parafuso fixo no casquilho esférico - Suporte_5 - Mola de lâmina	117
Figura 154 - Casquilho esférico (HPC Europe)	117
Figura 155 - Solução encontrada para o casquilho esférico - Suporte_5 - Mola de lâmina.....	118
Figura 156 - Chapa de protecção - Suporte_5 - Mola de lâmina	118
Figura 157 - Sistema de alavanca 1 - Suporte_5 - Mola de lâmina	119
Figura 158 - Sistema de alavanca 1 - Suporte_5 - Mola de lâmina	119
Figura 159 - Sistema de alavanca 2 - Suporte_5 - Mola de lâmina	120
Figura 160 - Sistema de alavanca 3 - Suporte_5 - Mola de lâmina	120
Figura 161 - Sistema de alavanca 4 - Suporte_5 - Mola de lâmina	121
Figura 162 - Sistema de alavanca 4 - Suporte_5 - Mola de lâmina	121
Figura 163 - Barra - elemento do sistema de alavanca 4 - Suporte_5 - Mola de lâmina	122
Figura 164 - Sistema de alavanca 5 - Suporte_5 - Mola de lâmina	122
Figura 165 - Excêntrico - elemento do sistema de alavanca 5 - Suporte_5 - Mola de lâmina	123
Figura 166 - Sistema de alavanca 5 montado no Suporte_5 - Mola de lâmina	123
Figura 167 - Excêntrico - Sistema de alavanca 6 - Suporte_5 - Mola de lâmina	123
Figura 168 - Perno roscado - Sistema de alavanca 6 - Suporte_5 - Mola de lâmina	124
Figura 169 - Alavanca utilizada no sistema de alavanca 6 - Suporte_5 - Mola de lâmina (Norelem)	124
Figura 170 - Alavanca utilizada no sistema de alavanca 6 - Suporte_5 - Mola de lâmina (Norelem)	124
Figura 171 - Excêntrico - Sistema de alavanca 7 - Suporte_5 - Mola de lâmina	125
Figura 172 - Sistema de alavanca 7 - Suporte_5 - Mola de lâmina	125
Figura 173 - Montagem de todos os elementos do sistema de alavanca 7 no Suporte_5 - Mola de lâmina.....	126
Figura 174 - Suporte_5 - Mola Helicoidal	127
Figura 175 - Suporte_5 - Mola Helicoidal - Suporte rectificadado	127
Figura 176 - Ponto crítico de concepção do Suporte_5 - Mola helicoidal	128
Figura 177 - Suporte_5 - Mola helicoidal.....	128
Figura 178 - Evolução do ponto crítico de maquinagem	129
Figura 179 - Apoio de fixação do punção - Suporte_5 - Mola helicoidal	129
Figura 180 - Dente de engate no <i>Safety Tang</i> do punção - Suporte_5 - Mola helicoidal.....	130

Figura 181 - Vista em corte do sistema do dente de engate no <i>Safety Tang</i> do punção - Suporte_5 - Mola helicoidal	130
Figura 182 - Dente de engate no <i>Safety Tang</i> do punção - Suporte_5 - Mola helicoidal.....	131
Figura 183 - Dificuldade de maquinagem no ponto 1 - Suporte_5 - Mola helicoidal	131
Figura 184 - Sistema de veio montado no Suporte_5 - Mola helicoidal	132
Figura 185 - Chapa de protecção das molas helicoidais - Suporte_5 - Mola helicoidal.....	132
Figura 186 - Chapa de protecção das molas helicoidais fixa por quatro parafusos - Suporte_5 - Mola helicoidal	133
Figura 187 - Suporte_5 - Mola helicoidal.....	133
Figura 188 - Suporte_5 - Mola helicoidal.....	134
Figura 189 - Suporte_5 - Mola helicoidal - vista em corte do sistema de inclinação.....	134
Figura 190 - Vista explodida do Suporte_5 - Mola de lâmina.....	136
Figura 191 - Vista explodida do Suporte_5 - Mola de lâmina.....	137
Figura 192 - Vista explodida do Suporte_5 – Mola de lâmina - Numeração dos diversos elementos para clara identificação.....	138
Figura 193 - Entrada do punção no Suporte_5 - Mola de lâmina.....	139
Figura 194 - Movimento da mola na entrada do suporte_5 - Mola de lâmina.....	140
Figura 195 - Posição do punção antes do dente engatar no <i>Safety Tang</i> do punção - Suporte_5 - Mola de lâmina.....	140
Figura 196 - Punção apoiado no Suporte_5 - Mola de lâmina	141
Figura 197 - Suporte_5 - Mola de lâmina - travado e punção completamente fixo	142
Figura 198 - Movimento para retirada do punção do Suporte_5 - Mola de lâmina.....	143
Figura 199 - Zona de contacto e movimento de descida do punção, para ser retirado do Suporte_5 - Mola de lâmina	143
Figura 200 - Movimento final de retirada do punção do Suporte_5 - Mola de lâmina	144
Figura 201 - Diagrama de Ashby para selecção de materiais de molas pequenas (Michael Ashby, 2005).....	151
Figura 202 – Diagrama de Ashby para selecção de materiais de molas leves (Michael Ashby, 2005).....	152
Figura 203 - Esquema da geração do feixe "laser" (Francisco Silva, 2007)	177
Figura 204 - Elementos básicos de um "laser" (Francisco Silva, 2007)	178
Figura 205 - Fresa vertical (Kalpakjian, 2003)	179
Figura 206 - Fresas horizontais (Kalpakjian, 2003)	179
Figura 207 - a) fresagem convergente b) fresagem divergente (Sandvik, 2005)	180
Figura 208 - Parâmetros de fresagem (Francisco Silva, 2007)	181
Figura 209 - Massa do sistema de fixação	181
Figura 210 - Sistema de fixação molas em paralelo.....	182
Figura 211 - Distância do suporte ao intermediário com o suporte fechado	182
Figura 212 - Distância do suporte ao intermediário com o suporte aberto	183
Figura 213 - Vista explodida do Suporte_5 – Mola de lâmina - Numeração dos diversos elementos para clara identificação.....	184
Figura 214 - <i>Gabarit</i> de soldadura	187

Figura 215 - Chapas para separar as molas de lâminas individualmente	187
Figura 216 - Molas de lâminas e linguetes no <i>gabarit</i> para soldar parte superior do linguete.....	187
Figura 217 - Chapas para separar as molas para soldar a parte inferior do linguete	188
Figura 218 - Molas de lâmina prontas a soldar apoiadas em mesa móvel	188
Figura 219 - Mesa móvel aberta	189
Figura 220 - Rasgo por onde as molas sairão do <i>gabarit</i>	189
Figura 221 - Montagem do parafuso na mola de lâmina.....	190
Figura 222 - Montagem do apoio no parafuso e encostar à mola de lâmina	190
Figura 223 - Molas de lâmina e apoios montados nos parafusos.....	191
Figura 224 - Molas de lâmina e apoios montados nos parafusos.....	191
Figura 225 - Montagem das molas de lâmina no suporte	192
Figura 226 - Montagem dos parafusos sem cabeça no suporte	192
Figura 227 - Montagem dos parafusos sem cabeça e do apoio do punção no suporte	193
Figura 228 - Montagem dos parafusos sem cabeça e do apoio do punção no suporte	193
Figura 229 - Montagem dos casquilhos esféricos nos parafusos M10	193
Figura 230 - Casquilhos montados nos parafusos M10	194
Figura 231 – Colocação dos parafusos M10 e casquilhos no suporte	194
Figura 232 - Aplicação da chapa de protecção no suporte.....	195
Figura 233 - Montagem da alavanca no excêntrico	195
Figura 234 - Montagem do casquilho no suporte.....	196
Figura 235 - Colocação do conjunto da alavanca no suporte	196
Figura 236 – Aperto do parafuso de fixação do sistema de alavanca.....	197
Figura 237 - Aplicação das molas helicoidais nos parafusos M10	197

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Comparação entre diferentes tipos de quinadoras (Bessa Pacheco, 1992)	25
Tabela 2 - <i>Springback factor</i> K_R (Schuler, 1998)	30
Tabela 3 - Tratamentos, temperaturas e meios de arrefecimento para o material C45E	64
Tabela 4 - Materiais para ferramentas de quinagem (Heinz Tschachtsch, 2006)	64
Tabela 5 - Comparação Entre Sistemas de Fixação de Mola de Lâmina	103
Tabela 6 - Comparação Entre Sistemas de Fixação de Mola Helicoidal	103
Tabela 7 - Comparação Entre os Sistemas de Fixação Optimizados	134
Tabela 8 – Requisitos exigidos	145
Tabela 9 – Índice de importância dos atributos - suporte	147
Tabela 10 – Propriedades - suporte	148
Tabela 11 – Propriedades ponderadas - suporte	148
Tabela 12 – Ponderação dos atributos - suporte	149
Tabela 13 – Tabela Final - suporte	149
Tabela 14 – Índice de importância de atributos – mola de lâmina	152
Tabela 15 – Propriedades – mola de lâmina	153
Tabela 16 – Propriedades ponderadas – mola de lâmina	154
Tabela 17 – Ponderação dos atributos – mola de lâmina	154
Tabela 18 – Tabela final – mola de lâmina	155
Tabela 19 – Índice de importância de atributos – apoio mola	156
Tabela 20 – Propriedades – apoio mola	157
Tabela 21 – Propriedades ponderadas – apoio mola	157
Tabela 22 – Ponderação dos atributos – apoio mola	158
Tabela 23 – Tabela final – apoio mola	158
Tabela 24 – Índice de importância de atributos - linguete	159
Tabela 25 – Propriedades - linguete	160
Tabela 26 – Propriedades ponderadas - linguete	160
Tabela 27 – Ponderação dos atributos - linguete	161
Tabela 28 – Tabela final - linguete	161
Tabela 29 – Índice de importância dos atributos – apoio punção	162
Tabela 30 – Propriedades – apoio punção	163
Tabela 31 – Propriedades ponderadas – apoio punção	163
Tabela 32 – Ponderação dos atributos – apoio punção	164
Tabela 33 – Tabela final – apoio punção	164
Tabela 34 – Índice de importância dos atributos - chapa	165
Tabela 35 – Propriedades - chapa	166
Tabela 36 – Ponderação dos atributos - chapa	166
Tabela 37 – Tabela final - chapa	167

Tabela 38 – Índice de importância dos atributos - excêntrico	168
Tabela 39 – Propriedades - excêntrico	169
Tabela 40 – Propriedades ponderadas - excêntrico	169
Tabela 41 – Ponderação dos atributos - excêntrico	170
Tabela 42 – Tabela final - excêntrico	170
Tabela 43 – Suporte e apoio suporte punção	172
Tabela 44 – Mola de lâmina e parafuso ISO 7380 M4*8	173
Tabela 45 – Apoio mola e parafuso ISO 7380 M4*8	174
Tabela 46 – Excêntrico e parafuso ISO 7380 M8*20	175
Tabela 47 – Chapa de protecção e parafuso ISO 7380 M4*8	176
Tabela 48 - Lista de peças e componentes utilizados	184
Tabela 49 - Orçamentação do suporte de mola de lâmina (Francisco Silva, 2014)	198
Tabela 50 - Orçamentação dos processos de fabrico para o suporte de mola de lâmina (Francisco Silva, 2014)	199

Índice

Lista de Símbolos e Abreviaturas	xiii
Glossário de Termos	xix
Índice de Figuras	xxiii
Índice de Tabelas	xxxí
Índice	xxxiii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos	2
1.3. Metodologia	3
1.4. Estrutura	4
2. Revisão bibliográfica	5
2.1. Quinagem e quinadoras	5
2.1.1. Processo de quinagem	6
2.1.2. Quinadoras	15
2.1.2.1. Quinadoras mecânicas	18
2.1.2.2. Quinadoras hidráulicas	19
2.1.2.2.1 Quinadoras hidráulicas de curso ascendente	20
2.1.2.2.2 Quinadoras hidráulicas com veio de torção e batentes mecânicos	21
2.1.2.2.3 Quinadoras hidráulicas com sincronização hidráulica aproximada e batentes mecânicos	22
2.1.2.2.4. Quinadoras hidráulicas com servomecanismo completo – quinadoras de precisão	23
2.1.2.2.5. Quinadoras hidráulicas com CNC	24
2.1.2.3. Quinadoras eléctricas	26
2.1.2.3.1. Correias	26
2.1.2.3.2. Fuso de esferas e polia + correia	27
2.1.2.3.3. Direct drive	27
2.2. Constituição das quinadoras	27
2.3. Fabricantes de quinadoras	28
2.4. Influência das propriedades dos materiais na quinagem	29
2.4.1. Espessura	29
2.4.2. Resistência do material – retorno elástico	29
2.4.3. Orientação do grão	31
2.5. Ferramentas para quinagem e respectiva fixação	33
2.6.1. Matrizes	35
2.6.1.1. Matrizes para quinagem “ao ar”	38
2.6.1.2. Matrizes para quinagem “a fundo”	39
2.6.1.3. Intermediários porta-punções	39

2.6.1.4. Mesas de bombeio	41
2.6.2. Punções	42
2.6.3. Sistemas de fixação dos punções	48
2.6.3.1. Sistemas apresentados pela ROLLERI	50
2.6.3.2. Sistemas apresentados pela WILA	59
2.7. Aços para ferramentas de quinagem e respectivos tratamentos	63
2.7.1. Requisitos a ter em conta nos materiais para ferramentas de quinagem	65
2.7.2. Tratamentos térmicos dos aços para ferramentas de quinagem	66
3. Desenvolvimento	69
3.1. Introdução ao trabalho prático desenvolvido	69
3.1.1. Objectivos do trabalho prático	69
3.1.2. Caracterização da empresa	69
3.2. Situação inicial	70
3.3. “Tempestade de ideias” sobre possíveis soluções	77
3.4. Anteprojecto dos novos sistemas de fixação	104
3.5. Projecto final do sistema de fixação	135
3.5.1. Funcionamento do sistema de fixação	138
3.5.2. Selecção de materiais e respectivos tratamentos	146
3.5.2.1. Suporte	146
3.5.2.2. Mola de lâmina	150
3.5.2.3. Apoio mola	155
3.5.2.4. Linguete	158
3.5.2.5. Apoio punção	162
3.5.2.6. Chapa	164
3.5.2.7. Excêntrico	167
3.5.3. Tolerancimento	171
3.5.3.1. Tolerânciamento dimensional	171
3.5.3.1.1. Suporte e apoio suporte punção	171
3.5.3.1.2. Mola de lâmina e parafuso ISO 7380 M4*8	172
3.5.3.1.3. Apoio mola e parafuso ISO 7380 M4*8	173
3.5.3.1.3. Excêntrico e parafuso ISO 7380 M8*20	174
3.5.3.1.4. Chapa de protecção e parafuso ISO 7380 M4*8	175
3.5.4. Procesos de fabrico	176
3.5.4.1. Soldadura laser	176
3.5.4.2. Maquinagem - fresagem	178
3.5.5. Dimensionamento das molas helicoidais	181
3.6. Lista de peças e componentes utilizados	184
3.7. Instruções para a montagem do sistema	186
3.8. Detalhes do processo de fabricação do protótipo	198
3.9. Análise funcional do protótipo	198

3.10. Orçamentação do equipamento.....	198
4. Conclusões.....	201
5. Bibliografia e outras fontes de informação.....	203
5.1. Bibliografia.....	203
5.2. Outras fontes de informação.....	205

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A indústria metalomecânica é ainda um dos principais pilares da economia nacional. Entre muitas outras, a indústria de conformação de chapa é uma das mais importantes, através de fabricantes de mobiliário de escritório, mobiliário de cozinha industrial, caixas de carga para camiões e semi-reboques, material ferroviário circulante, blindagens para os mais diversos fins, etc.

Este facto levou ao desenvolvimento de algumas empresas dedicadas à produção de equipamentos essencialmente dedicados ao trabalho em chapa, nomeadamente guilhotinas e quinadoras. Algumas das empresas mais importantes neste sector foram a ADIRA, GUIFIL e RICO, estando as duas primeiras agrupadas desde há mais de uma década.

Tanto no caso das guilhotinas como das quinadoras, as ferramentas são adquiridas usualmente no estrangeiro, quer por questões relacionadas com o aço e respectivo tratamento térmico, quer pelo facto dos sistemas de fixação e respectivas ferramentas estarem normalmente protegidos por patentes que defendem os respectivos inventores e produtores desses sistemas, com implicações directas no custo das mesmas para as empresas portuguesas.

Estes sistemas são usualmente adquiridos a empresas holandesas (WILA) ou italianas (ROLLERI), as quais possuem sistemas diferentes, mas que salvaguardam todas as condições de segurança na operação dos sistemas. Estes sistemas de fixação permitem a montagem e desmontagem dos punções de forma expedita, mas não permitem que os mesmos se soltem sem que haja uma manifesta vontade por parte do operador de que isso se verifique, evitando que uma operação menos cuidada possa resultar na queda de um punção e na respectiva lesão do operário. Cada um destes sistemas poderá ainda ser accionado de forma manual, pneumática ou hidráulica, dependendo do grau de automatização requerido pela empresa detentora dos equipamentos. Em serviço, verifica-se que os sistemas já existentes apresentam graus de precisão e satisfação do operador diferentes, o que leva a que o desenvolvimento de novos sistemas possam ter por base o princípio de funcionamento que leva a um maior grau de segurança e satisfação por parte do operador.

1.2. Objectivos

Perante o quadro anteriormente traçado, este trabalho teve como principal objectivo proceder ao estudo de um novo sistema de fixação dos punções nas quinadoras. Para tal, foi elaborada uma lista de requisitos, que seguidamente se reproduz:

- Assegurar a total segurança do operário na sua operação;
- Permitir uma operação fácil e precisa;
- Permitir o accionamento manual, pneumático ou hidráulico;
- O novo sistema não poderá colidir com os sistemas já existentes, os quais se encontram protegidos por patentes;
- Permitir processos de fabricação expeditos, resultando num custo competitivo;
- Permitir fácil manutenção.

Com base nos pressupostos anteriores, foi montada a seguinte estratégia para abordar o problema:

- Elaborar um estudo apurado dos sistemas já existentes;
- Perceber os mecanismos de fixação e segurança instalados, sua função e soluções encontradas pelos outros fabricantes para o conseguir;
- Estudar a precisão e conforto de utilização associados a cada sistema;
- Elencar as vantagens e desvantagens associadas a cada sistema;
- Estudar possíveis soluções alternativas às existentes, assim como a viabilidade de adequado funcionamento para cada uma delas;
- Elaborar o anteprojecto das soluções entendidas como válidas;
- Apresentar essas soluções à empresa, para validação e selecção;

- Elaborar o projecto da solução final;
- Elaborar os desenhos 2D para fabrico e 3D para montagem;
- Construir o protótipo;
- Testar o funcionamento da solução e implementar melhorias;
- Elaborar a presente dissertação.

1.3. Metodologia

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

- Análise detalhada do funcionamento dos sistemas que actualmente estão a ser importados de fornecedores holandeses e italianos;
- Análise detalhada do seu funcionamento, princípio de actuação e mecanismos de segurança, peças que os constituem e montagem das mesmas;
- Dissecção dos princípios básicos de funcionamento;
- “Tempestade de ideias” sobre possíveis soluções que garantam a mesma eficácia de funcionamento (ou maior), garantindo os mesmos princípios de segurança;
- Análise detalhada das soluções e eliminação das ideias que apresentam problemas de execução, riscos de funcionamento ou não cumpram todos os requisitos entendidos por basilares ao dispositivo;
- Elaboração dos respectivos anteprojectos;
- Apresentação à empresa da selecção de ideias, devidamente fundamentadas;
- Análise das vantagens, fragilidades, ameaças e oportunidades do sistema;
- Revisão final dos conceitos encontrados;

- Elaboração do projecto definitivo da(s) solução(ões) validada(s), com desenhos 2D para fabricação e 3D para montagem;
- Elaboração do protótipo (ao encargo da empresa);
- Orçamentação definitiva da solução;
- Redacção da presente dissertação.

1.4. Estrutura

A estrutura deste trabalho está assente essencialmente em duas partes: uma Revisão Bibliográfica inicial, onde se pretende enquadrar o leitor com os temas envolvidos nesta dissertação, passando em revista os desenvolvimentos técnicos e científicos que foram publicados em livros e periódicos científicos dedicados à matéria, e o Desenvolvimento do Trabalho Prático propriamente dito, com referência às soluções inicialmente encontradas, desenvolvimentos efectuados e solução final proposta, devidamente fundamentada e documentada.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Quinagem e quinadoras

O processo de quinagem é um processo de conformação plástica, aplicado em chapas metálicas planas (figura 1) de forma a obter peças de superfícies planificáveis com geometria cónica, cilíndrica ou prismática (Dieter, 1988).

Este processo de conformação consiste em obter uma dobra linear, por aplicação de um punção, através da penetração numa matriz ou ferramenta aberta, montados numa máquina denominada de quinadora.

Este processo tecnológico é aplicado em peças compridas e de baixa espessura, quando são utilizadas produções de baixa quantidade, em que não seja necessária a utilização de um processo contínuo, como por exemplo no caso da perfiladora.

Mesmo com a simplicidade deste processo, este pode ser aplicado em diversos tipos de indústrias, tais como:

- Indústria automóvel;
- Construções metálicas (figura 2 e 3);
- Indústria naval e aeronáutica;
- Indústria alimentar;
- Indústria agrícola;
- Indústria extractiva.



Figura 1 - Quinagem de chapa plana

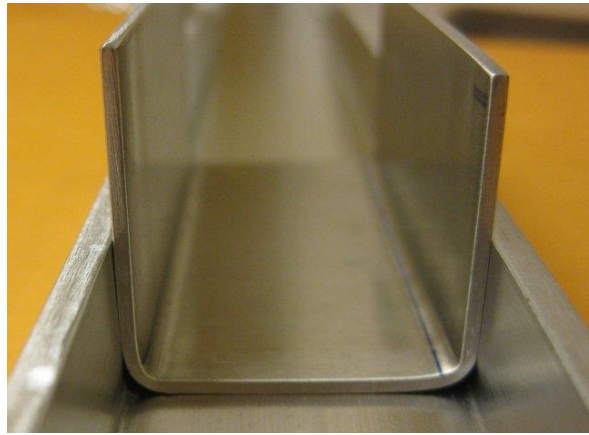


Figura 2 - Perfil conformado por quinagem (Spoonworld)

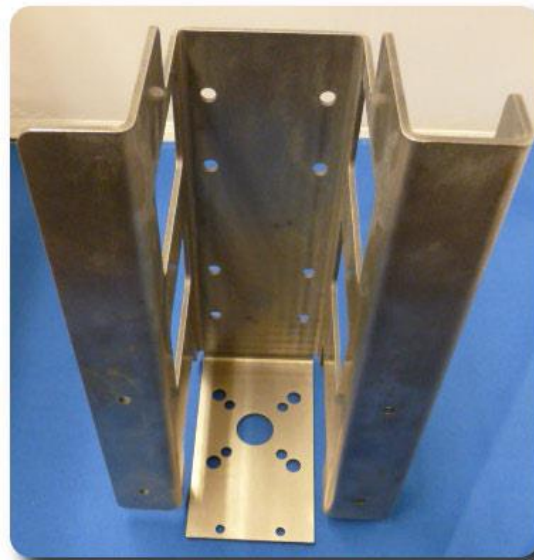


Figura 3 - Chapa conformada por quinagem (Frecontechologies)

2.1.1. Processo de quinagem

No processo de quinagem, tal como em qualquer outro processo mecânico e tecnológico, alguns parâmetros devem ser controlados para a obtenção do produto sem defeitos, permitindo poupar tempo e dinheiro.

A quinagem é um processo de flexão elasto-plástica aplicado a uma viga rectilínea (Bessa Pacheco, 1992). Sendo assim, o material no lado interior é comprimido e no exterior é tracionado (figura 4).

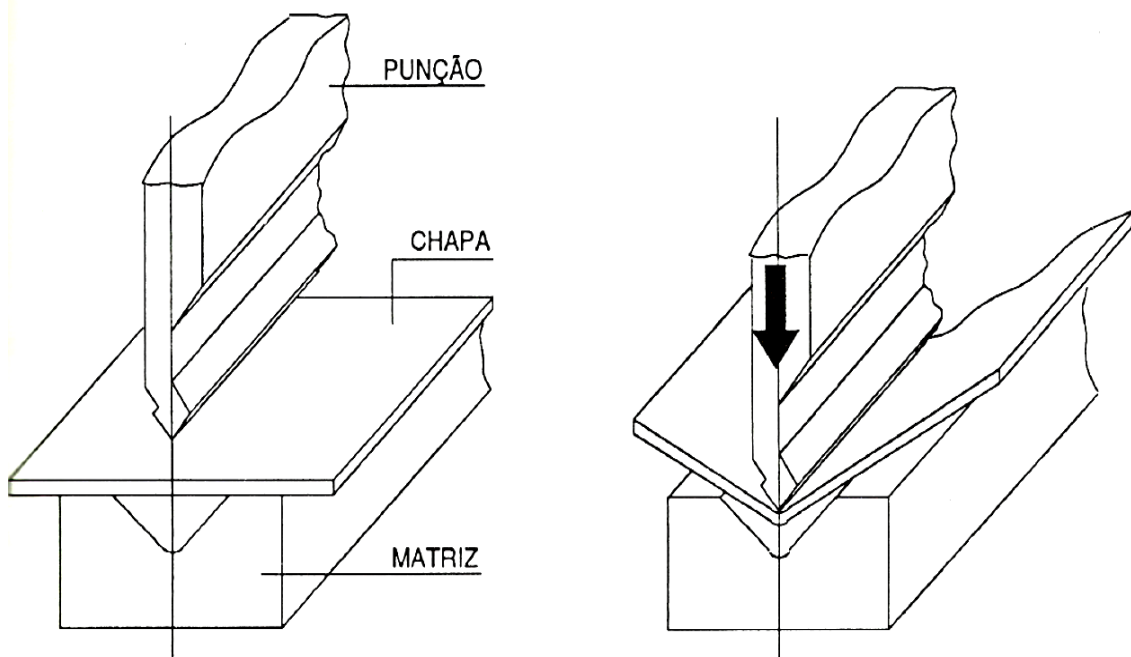


Figura 4 - Posições relativas da chapa a quinar e das ferramentas antes e durante a quinagem
(Bessa Pacheco, 1992)

A solicitação aplicada à chapa consiste numa combinação de esforço de tracção e flexão. O esforço de tracção é caracterizado por uma tensão de tracção constante na secção, enquanto o momento flector provoca um esforço normal de tracção na porção exterior da curvatura e outro de compressão na porção interior, enquanto na linha que passa pelo centro de gravidade da secção temos a chamada linha neutra, na qual as tensões axiais devido à flexão são nulas. A combinação de esforços resulta no deslocamento da linha neutra para fora do centro de gravidade. Desprezando o efeito da tracção, a secção ficaria sujeita a um esforço de flexão pura. Nas chapas finas, pode admitir-se que as secções rectas se mantêm planas durante a deformação e que convergem no centro de curvatura. Considera-se que as direcções principais das tensões e das extensões coincidem com as direcções radial, tangencial e segunda a largura. Em suma, a fibra neutra é a linha cujo comprimento não varia após a deformação da peça e cuja posição depende fundamentalmente da espessura da chapa e do tipo de solicitação introduzida pelas ferramentas. Na figura 5 e equação 1 podem ser observados os princípios básicos deste fenómeno, antes e depois da conformação da chapa.

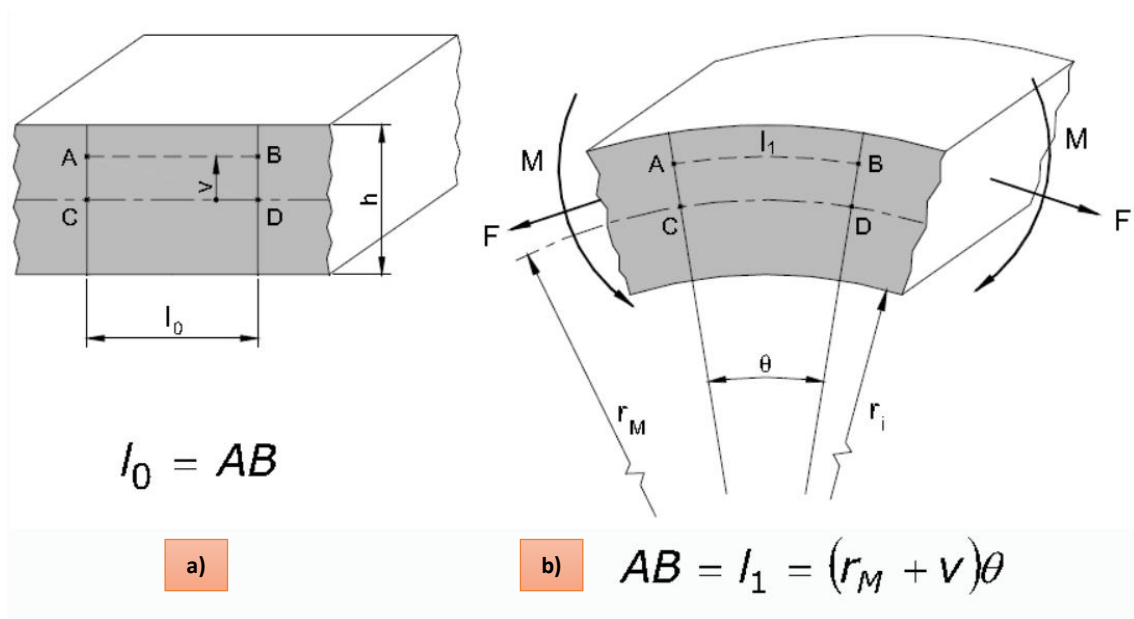


Figura 5 – Exemplificação do comportamento da linha neutra de um corpo solicitado por uma força axial e um momento flector antes (a) e depois (b) da aplicação dos mesmos (IST,2008)

$$(\varepsilon_\theta)_{AB} = \ln \frac{l_1}{l_0} = \ln \left[\frac{l_M}{l_0} \left(1 + \frac{v}{r_M} \right) \right] = \ln \left(\frac{l_M}{l_0} \right) + \ln \left(1 + \frac{v}{r_M} \right) \quad l_m = r_M \theta \quad (1)$$

Variáveis da equação 1:

- l_0 [mm] – Segmento de recta;
- l_1 [mm] – Arco correspondente a l_0 após conformação;
- v [mm] – Distância da linha considerada à linha neutra;
- r_m [mm] – Raio mínimo de conformação;
- θ [°] – Ângulo de conformação.

Na quinagem, os parâmetros mais importantes a controlar são a força e a profundidade de quinagem (Dieter, 1988). A força aplicada e a penetração criam um gradiente de tensão ao longo de toda a espessura. Os valores de tensão máxima aparecerão nos extremos das fibras (figura 6 e 7). Ultrapassando o limite elástico do material, este estará em regime plástico, a partir do qual as fibras ficam sujeitas a uma deformação permanente, ou seja, não poderão voltar ao seu estado inicial.

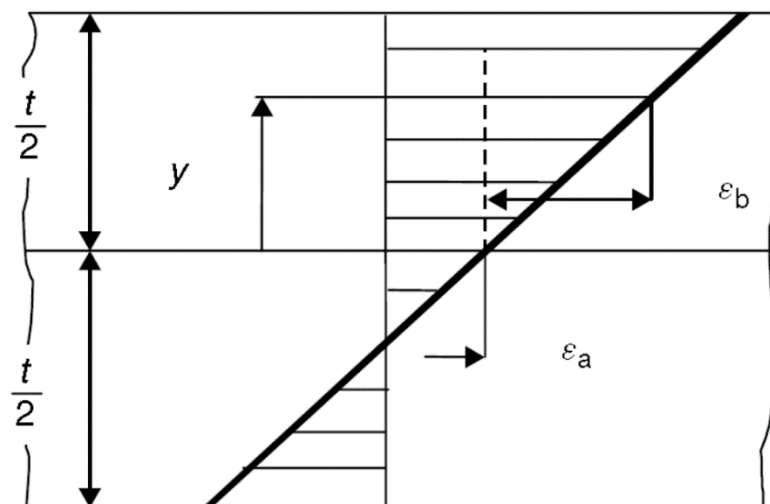


Figura 6 – Distribuição esquemática das deformações para um esforço combinado de tracção e flexão (Z. Marciniak, J. L. Duncan, S. J. Hu, 2002)

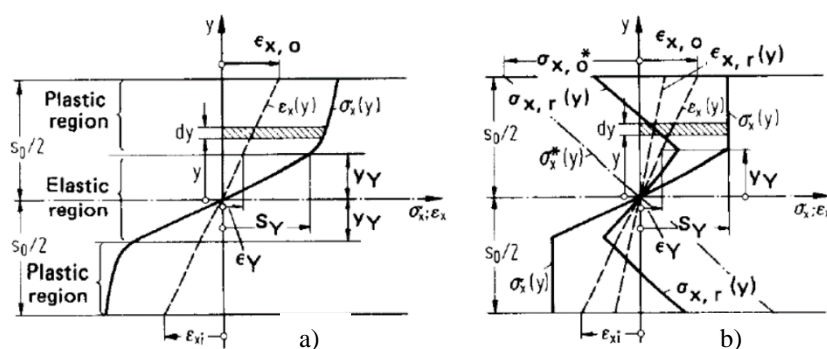


Figura 7 - Distribuições de tensão-deformação em corte transversal durante flexão. a) trabalho real do material na zona plástica. b) material de trabalho plástico ideal. Condição de tensão e deformação após *springback* também estão representados (Kurt Lange, 1985)

A figura 8 demonstra o comportamento num material com deformação plástica solicitado à tracção uniaxial, após este ultrapassar o respectivo limite elástico: após descarregamento o material recupera parte da deformação sofrida (definida pelo declive inicial da curva σ - ϵ), enquanto a restante deformação se tornará permanente. Este é um princípio basilar na quinagem de chapa, que está na origem da retenção da forma dos componentes quinados, embora estes sofram recuperação elástica após retirada do punção.

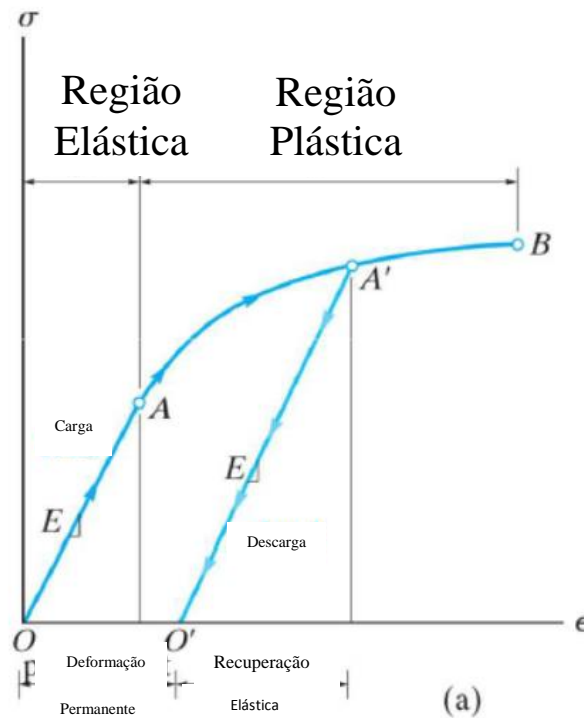


Figura 8 – Comportamento observado num material com deformação plástica solicitado à tracção uniaxial (Armando Vilaça, 2012)

O valor de abertura da matriz poderá simplificar-se como sendo a distância entre apoios de uma viga no processo de flexão três pontos. Este valor afecta especificamente a força necessária para ultrapassar o limite elástico do material. Esta distância, em conjunto com o grau de penetração do punção, determinam o ângulo de quinagem α (figura 9).

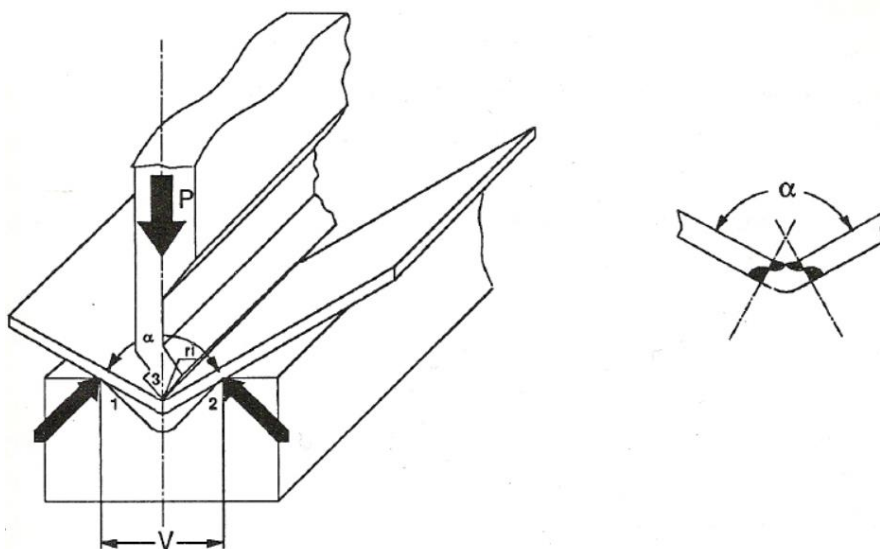


Figura 9 - Princípio de quinagem - o ângulo de quinagem α depende da posição relativa dos 3 pontos de contacto (1,2 e 3) (Bessa Pacheco, 1992)

O raio interior do componente quinado é outro dos factores importantes na quinagem, o qual poderá determinar uma boa ou má quinagem. Este é afectado na quinagem ao ar, que será explicado mais à frente, tal como a quinagem a fundo, pelo valor de abertura da matriz, usualmente designado por “V”, e na quinagem a fundo pelo raio do punção. Para controlar estes efeitos, a norma DIN 6935 referencia valores do raio de quinagem recomendados, sendo que estes valores ainda podem ser consultados na ficha do equipamento, por meio de uma tabela, conforme mostrado na figura 10 e no anexo I.

		42 kg/mm ²																								
s mm	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	V						
	3	3,5	4	5,5	6,5	8	10,5	13	16,5	21	26	32,5	41	52	65	81,5	104	130	163	B						
	0,5	0,7	0,8	1	1,3	1,5	2	2,5	3,2	4,4	5	6,5	8	10	12	15	20	25	37	Ri						
0,6	6	5	3	2																						
0,8	12	9	7	5	4															30°	B x 1,6	R = 20 kg/mm ²	r x 0,8	Al		
1		15	11	8	6	5														60°	B x 1,1					
1,2			18	12	9	7	5													90°	B x 1	R = 42 kg/mm ²	r x 1	Fe		
1,5				21	15	12	8	6												120°	B x 0,9					
2					30	23	16	12	9											150°	B x 0,7	R = 70 kg/mm ²	r x 1,4	Inox		
2,5						39	27	20	14	11																
3							43	31	23	16	12															
4								60	44	32	23	18														
5									76	54	39	29	22													
6										85	62	45	33	25												
8											121	88	70	46	35											
10												151	109	79	58	44										
12													173	124	91	66	50									
15	INOX - stainless steel R 70 kg/mm ² Ton x 1,7													213	155	113	81	62								
20	AL - aluminium R 20 kg/mm ² Ton x 0,5													302	220	158	115	89								
25	(R = tensile strength)													378	269	197	144									F t/m

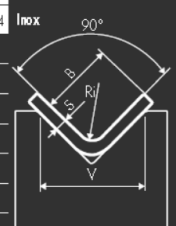


Figura 10 - Tabela de forças de quinagem em função da espessura e do ‘V’ (Rolleri)

Na quinagem ao ar, ou quinagem livre, só se utiliza o efeito de flexão plástica simples (Bessa Pacheco, 1992). Apenas existem três pontos de contacto entre a peça a quinar e as ferramentas, punção e matriz, dos quais dois se encontram na matriz e um no punção. Pode designar-se a solicitação imposta à chapa como flexão em três pontos, provocando a flexão desejada na chapa. O valor do ângulo de quinagem, como já foi referido anteriormente, é determinado em função do grau de penetração do punção na matriz, sendo determinante o “V” da mesma. Após a quinagem, a chapa tem tendência a recuperar a sua forma inicial, voltando à sua posição de repouso, alterando assim o valor do ângulo desejado. Como solução para este problema, poderá ser aplicada uma sobre penetração, para compensar esta recuperação de forma.

Como vantagens da utilização da quinagem “ao ar” definem-se as seguintes:

- Menor força requerida durante a quinagem, com possibilidade de utilização de máquinas com menor capacidade;
- Menor desgaste nas ferramentas, devido à menor pressão de contacto;
- As mesmas ferramentas podem ser usadas em diferentes tipos de ângulos, permitindo assim a redução de custos, através da redução de ferramentas necessárias.

A grande desvantagem deste método de quinagem é a limitada precisão, sendo esta condicionada pela máquina e repetibilidade de quinagem. A qualidade das ferramentas também afecta a precisão. No entanto, o maior problema debatido neste método de quinagem reside no efeito de retorno elástico.

Um outro método de quinagem é designado como quinagem a fundo. Neste caso, a chapa é esmagada entre o punção e a matriz, sendo assim forçada a moldar-se ao contorno das ferramentas (Bessa Pacheco, 1992).

O retorno elástico que se verifica neste método é mínimo, em função da força de esmagamento aplicada nas peças pelas arestas (são duas), ou peça ponta denominada vértice. Sendo assim, nas chapas finas, quando esmagadas pelo vértice do punção, conseguem-se obter ângulos de quinagem mais agudos que o ângulo definido nas ferramentas.

As principais vantagens do processo de quinagem a fundo são:

- Maior precisão, obtendo raios interiores mais apertados;
- Repetibilidade do ângulo de quinagem;
- Retorno elástico reduzido.

Como desvantagens são apresentadas as seguintes:

- Requeridas forças três a cinco vezes superiores, para obter o mesmo ângulo, relativamente à quinagem livre, em que a quinagem a fundo é só utilizada em chapas de espessuras fina;
- Necessita de um par de ferramentas para cada ângulo de quinagem;

- Exige um maior desgaste das ferramentas.

Antes do processo de quinagem ser realizado, é possível determinar a força requerida (2), mas para isso é essencial conhecer a técnica de quinagem que será realizada. Na figura 11, são apresentados valores para a constante k. Com esta informação, parte-se então para o cálculo da força requerida na quinagem livre, em que se usa a seguinte expressão para o uso de ferramentas universais:

$$F_b = \frac{1.2 * b * s^2 * R_m}{dw} \quad (2)$$

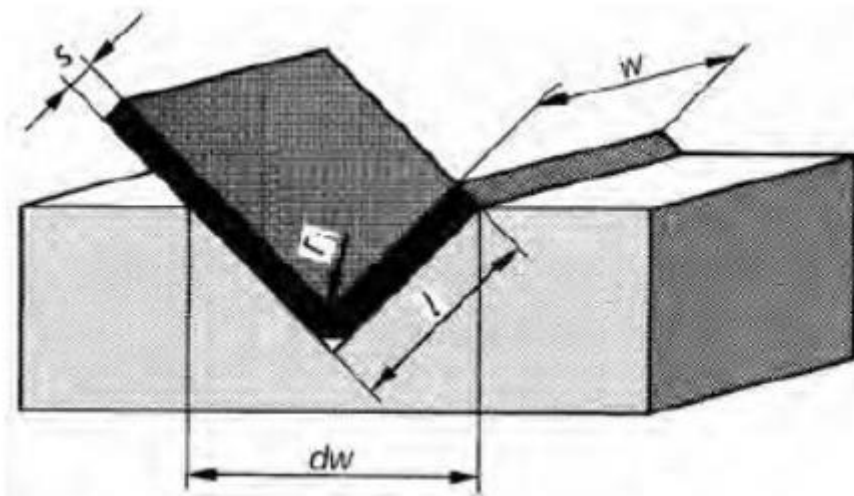


Figura 11 - Tamanho e forma da matriz em forma de V (Heinz Tschachtsch, 2006)

Onde:

$$dw = 5 * r_i \quad (3)$$

$$se \ r_i > r_{i \ min} \cong 2 * s \ \text{até} \ 5 * s \quad (4)$$

$$dw = 7 * r_i \quad (5)$$

$$se \ r_i = r_{i \ min} \cong 1.3 * s \quad (6)$$

$$l = 6 * s \quad (7)$$

Variáveis das equações 2, 3, 4, 5, 6 e 7:

- F_b [N] – Força de flexão;
- w [mm] – Largura da chapa;

- s [mm] – Espessura da chapa;
- R_m [N/mm²] – Resistência à tracção;
- d_w [mm] – Abertura da matriz;
- r_i [mm] – raio de curvatura;
- $r_{i\ min}$ [mm] – raio mínimo de curvatura admissível.

A qualidade de quinagem livre e a fundo e de uma peça obtida por este processo, é definida pela sua repetibilidade, pela uniformidade do ângulo de quinagem ao longo de toda a chapa quinada e pelo seu retorno elástico.

Como já foi referido anteriormente, a repetibilidade de quinagem depende na manutenção dos parâmetros de quinagem em sucessivas quinagens em chapas idênticas ao longo de todo o processo. Por exemplo, para uma peça que necessite de uma aba com ângulo de 30°, observa-se que os parâmetros de quinagem serão sempre o mesmo para todas as peças realizadas.

A uniformidade do ângulo de quinagem ao longo de toda a chapa está intimamente ligada, por exemplo, ao não paralelismo dos aventais. Para isso, utilizam-se intermediários ou mesas de bombeio, controladas manual ou automaticamente, para compensar a flexão natural dos mesmos.

O factor mais determinante na qualidade de quinagem é o retorno elástico, ou *springback*. Este factor é definido através da resistência do material e da sua capacidade de ultrapassar o limite elástico para o plástico, permitindo assim que o material não volte à sua posição inicial, após libertação da força de quinagem.

Têm sido feitas várias tentativas, para determinar um método analítico para controlar o retorno elástico. Foi desenvolvido por Osman *et al.* (2010) um modelo teórico, a ser aplicado para quinagem ao ar, e quinagem em V, através de experiências para determinar o rácio de retorno elástico, como factor de correcção à constante K_{Air} , consultada em tabelas ou figura 10. Através da utilização de dados fornecidos na bibliografia e ensaios experimentais, conseguiu-se definir uma expressão empírica (8) que permite determinar o valor de retorno elástico, servindo de correcção ao K_{Air} , valor teórico para o retorno elástico (*springback*), consultado em diversas tabelas, dada pela expressão 8:

$$K_{V-die} = K_{Air} \left[a_1 + a_2 \left(\frac{C'}{E} \right) \left(\frac{a_3 t}{r_u} \right)^{n-a_4} \right] \quad (8)$$

Variáveis equação 8:

- $a_1 = 1.0045$ – valor determinado através do MATLAB, para uma força de 100 kN;
- $a_2 = 1.12$ – valor determinado através do MATLAB, para uma força de 100 kN;
- $a_3 = 1.0$ – valor determinado através do MATLAB, para uma força de 100 kN;
- $a_4 = 1.02$ – valor determinado através do MATLAB, para uma força de 100 kN;
- C' - coeficiente do plano de força de tensão; $C' = C(2/\sqrt{3})^{n+1}$ [MPa];
- E' - Módulo de Young do plano de deformação; $E' = E/(1 - \nu^2)$ [MPa];
- n – strain hardening exponent – expoente de tensão de dureza;
- r_u – raio de curvatura no plano neutro em carga [mm];
- t – espessura da chapa [mm].

Como se tem constatado, a robotização e aplicação de controlo numérico computadorizado (CNC) têm sido cada vez mais interligados, com vista a melhorar a produtividade e a qualidade de quinagem. Para isso, têm sido desenvolvidos sistemas de esbarro com múltiplos eixos e sistemas de acompanhamento na quinagem.

Neste âmbito, em Gupta *et al.* (1998) foi desenvolvido um trabalho que consiste na utilização de um *robot* que actua em todo o processo de quinagem, facilitando todas as operações de quinagem, introduzindo apenas o ficheiro *CAD* na memória do computador. Deste modo o *robot* irá verificar todas as possibilidades, seleccionando o processo, mais simples e fácil para poder fabricar o produto.

2.1.2. Quinadoras

Uma quinadora é uma máquina utilizada para quinagem de chapas. Este tipo de máquina serve essencialmente para conformação plástica, podendo ser inserida no grupo das prensas especiais lentas (figura 12).

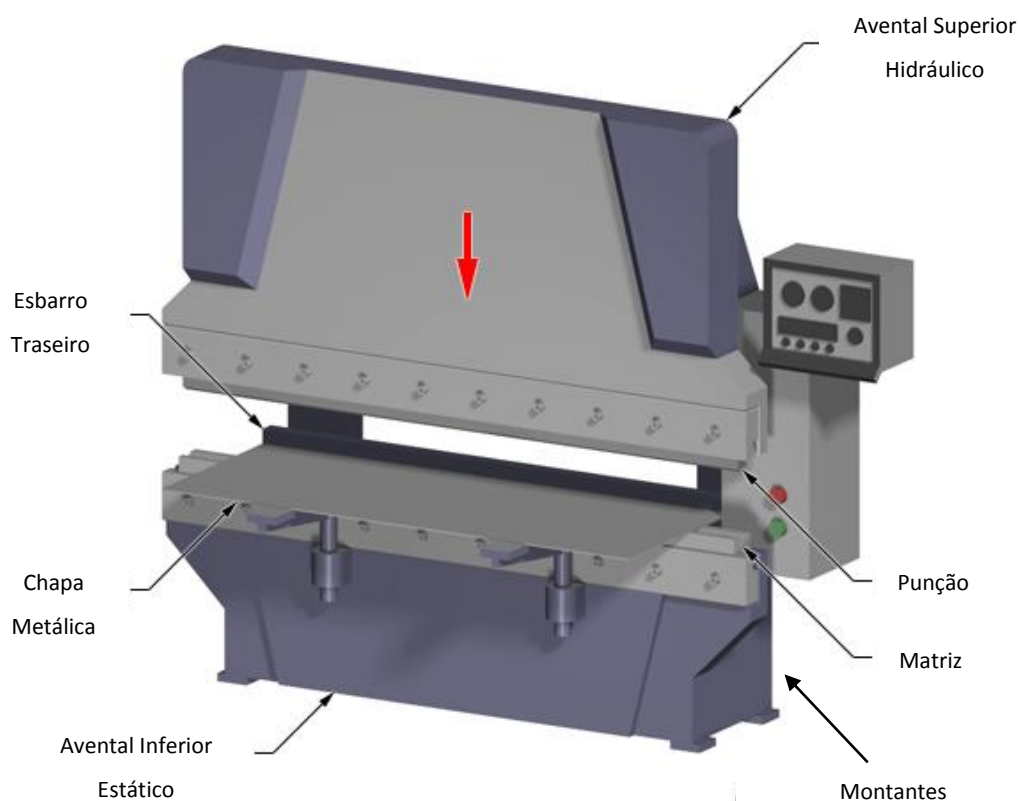


Figura 12 - Elementos principais de uma quinadora (Custompartnet)

As quinadoras utilizam ferramentas montadas numa mesa comprida e estreita, avental inferior (que cujo comprimento de acção pode atingir 8 metros de comprimento em execução normal e 15 metros (em execução especial)) e num avental móvel, com igual comprimento. A estrutura onde se aloja a mesa e o avental é sustentada por 2 montantes que dispõem de uma cava.

Actualmente, as quinadoras também podem ser utilizadas para corte de chapa, furação, desempeno e estampagem (Bessa Pacheco, 1992). Com o avanço tecnológico desde o fim da década de 70 (Bessa Pacheco, 1992), estas tornaram-se altamente automatizadas, através do sistema CNC, inserindo algumas informações, permite-se obter:

- O cálculo da profundidade de quinagem para se obter um determinado ângulo numa chapa de espessura conhecida;
- Cálculo das seguranças (limites de curso);
- Cálculo da força de quinagem;

- Cálculos de verificação de incompatibilidades de programação, evitando assim colisões perigosas;
- Cálculos gráficos das sequências recomendadas de quinagem;
- Velocidade do avental durante todo o processo, tanto conformação da chapa, como libertação da mesma, entre outros.

Com estes parâmetros controlados através de sistemas automatizados, obtém-se um melhor resultado final na quinagem, tornando-se esta mais precisa, flexível e fiável.

Com as preocupações de acidentes causados por este tipo de máquinas, incidiu-se na criação de normas de segurança antes, durante e após a quinagem, conseguindo-se assim uma forte diminuição do risco na sua operação. Alguns dos sistemas de segurança implantados são as guardas laterais físicas de segurança, barreiras de feixe laser, que detectam a presença de perigos na zona de acção da máquina, durante o seu funcionamento, a existência de dois manípulos de acionamento para manter as mãos do operário fora da zona de trabalho, etc. Actualmente estas máquinas são sujeitas a normas muito rigorosas respeitantes aos aspectos de segurança.

As quinadoras pertencem ao grupo de máquinas ferramentas consideradas altamente perigosas (Bessa Pacheco, 1992). No entanto, com os dispositivos actuais devidamente montados e activados, poderá afirmar-se que estas máquinas são seguras para o utilizador.

Com a implementação dos sistemas de segurança referidos, pretende-se proteger o acesso do operador à zona perigosa durante o funcionamento da quinadora. Por zona perigosa, entende-se toda a zona na qual qualquer parte do corpo do operador possa ser apanhada pelas partes móveis da máquina, principalmente do acesso ao espaço entre ferramentas, zona onde se exercem forças elevadas durante o trabalho.

Para isso definiram-se alguns procedimentos normalizados, segundo EN 12622, de segurança a implementar pelos operadores, tais como:

- Obrigatoriedade de utilização do comando com as duas mãos, por parte do operador, até ao fecho das ferramentas. Acabando o perigo de esmagamento das mãos, passa a ser possível o acionamento por pedal. Em alternativa, pode impedir-se o acesso do operador à zona perigosa, através de protecções imateriais como sensores;

- Obrigatoriedade de utilização de duplicação, quer do circuito hidráulico, quer do circuito eléctrico, para as funções relacionadas com as acções de paragem ou da manutenção em posição, dos órgãos móveis intervenientes na zona perigosa;
- Se houver avaria num dos componentes de uma função perigosa, um 2º componente encarregar-se-á da protecção, através da paragem em posição, ordenada na estação de comando do operador;
- Obrigatoriedade de utilização de guardas para impedir o acesso às zonas perigosas por pessoas expostas ao perigo, as quais deverão consistir em guardas laterais e guardas posteriores.

As quinadoras podem ser classificadas quanto ao seu tipo de acionamento da seguinte forma:

- Quinadoras mecânicas;
- Quinadoras hidráulicas;
- Quinadoras eléctricas.

2.1.2.1. Quinadoras mecânicas

As quinadoras mecânicas foram as primeiras máquinas desenvolvidas para este tipo de conformação plástica. Neste tipo de acionamento, a potência efectiva é assegurada pela energia cinética acumulada no volante de inércia e pela potência do motor de acionamento do volante (Bessa Pacheco, 1992). Com a utilização de uma embraiagem o movimento é transmitido às engrenagens, que se encontram ligados a um sistema biela-manivela que transfere ao avental móvel um movimento alternado, como se pode verificar na figura 13. O avental encontra-se guiado para assegurar o movimento linear.

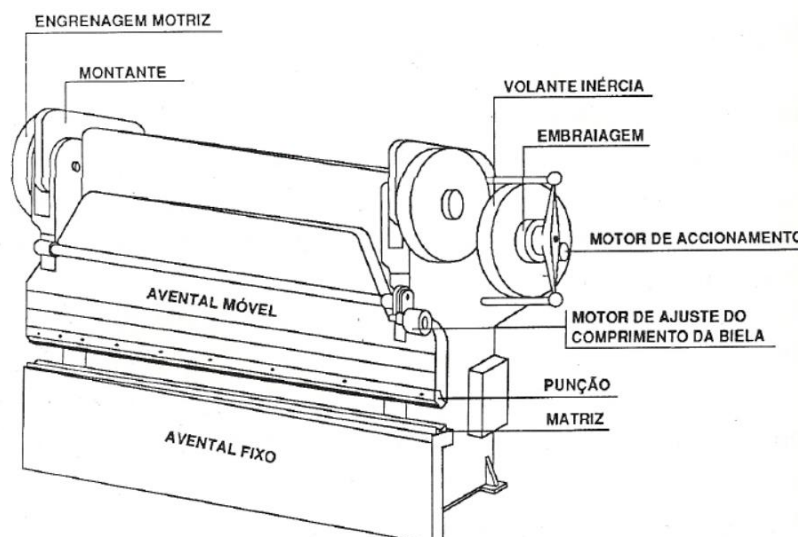


Figura 13 - Principais componentes de uma quinadora mecânica (Bessa Pacheco, 1992)

As quinadoras mecânicas, com a energia cinética acumulada no volante, atingem cadências elevadas. No entanto, uma cadência elevada nem sempre é vantajosa, porque a realização rápida de quinagens em chapas de grande porte é bastante perigosa, e nas chapas finas e longas poderá provocar uma falsa quinagem, que significa, não ter a matriz em contacto total com a chapa quinada. Sendo assim, existem quinadoras mecânicas que dispõem de duas velocidades, uma de aproximação e outra de trabalho. Estas máquinas possuem um curso de funcionamento curto e não ajustável à operação a ser realizada, impedindo assim quinagens profundas. Com o avanço tecnológico, este tipo de quinadoras ficou em desuso, passando assim a dar lugar às quinadoras hidráulicas.

2.1.2.2. Quinadoras hidráulicas

Este tipo de máquinas, como o nome referencia, utiliza um ou mais cilindros hidráulicos para accionamento do avental móvel, como se pode verificar na figura 14. Os cursos disponíveis destas podem ser elevados, sendo facilmente aplicável um ajuste dos pontos mortos superior e inferior ou mudanças de velocidade. O tempo de duração da carga pode ser facilmente regulado, sendo este um dos principais aspectos na repetibilidade de trabalhos, em que são necessárias tolerâncias apertadas.

As quinadoras hidráulicas são correntemente protegidas contra o aparecimento de sobrecargas, podendo utilizar a sua capacidade máxima em qualquer ponto do curso. Este tipo de máquinas exige menos aptidões técnicas aos operadores.

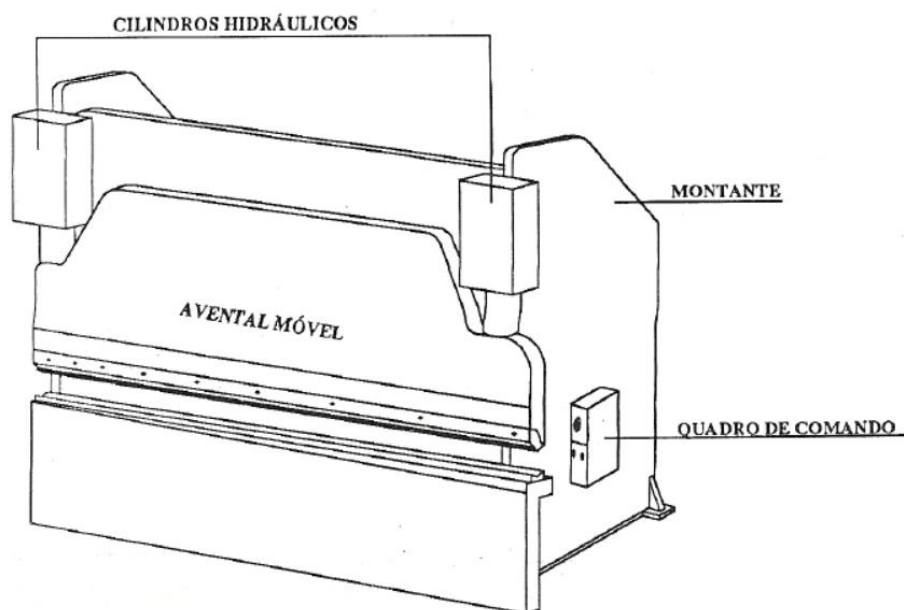


Figura 14 - Principais componentes de uma quinadora hidráulica (Bessa Pacheco, 1992)

2.1.2.2.1 Quinadoras hidráulicas de curso ascendente

Neste tipo de acionamento, o avental móvel é o inferior, accionado por um ou mais cilindros, figura 16. Os cilindros a serem usados só necessitam ser de simples efeito, porque o avental inferior, por acção da gravidade, voltará à sua posição inicial. Através de guias paralelas, os aventais estarão sempre em paralelo um em relação ao outro. A profundidade de quinagem é controlada por uma válvula hidráulica, que pode ser ajustada em carga (figura 15). Este tipo de acionamento pode ser facilmente adaptado ao conceito CNC, com a programação do ângulo de quinagem, devido à sua boa repetibilidade, $\pm 0.01\text{mm}$, e ajuste do ângulo de quinagem em carga.

Como principais vantagens das quinadoras hidráulicas, podemos referir a sua simplicidade, o seu baixo custo e elevada segurança. Em caso de falha do cilindro, o avental cai, abrindo assim a zona de trabalho.

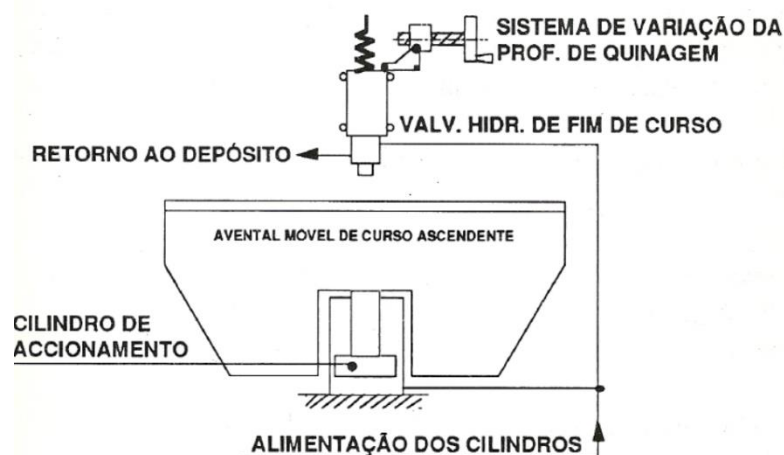


Figura 15 - Quinadora Ascendente - Sistema de controlo da profundidade de quinagem (Bessa Pacheco, 1992)

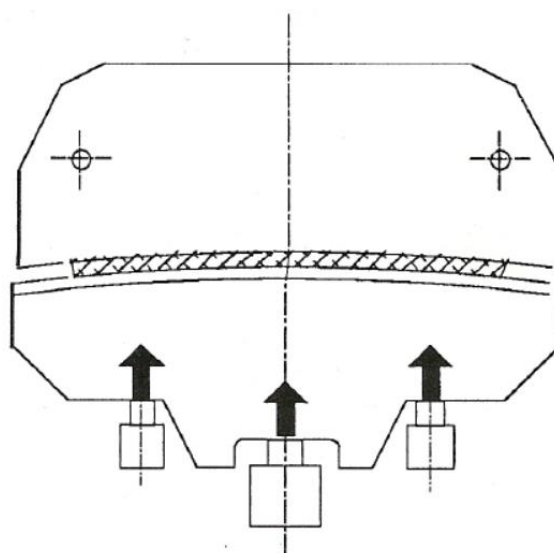


Figura 16 - Quinadora Ascendente - Deformação típica dos aventais (Bessa Pacheco, 1992)

2.1.2.2.2 Quinadoras hidráulicas com veio de torção e batentes mecânicos

O avental móvel é accionado por meio de um cilindro, que se encontra localizado no centro da quinadora, ou então dois, com menor capacidade de carga, mas localizados nas suas extremidades. Através de um veio de torção é assegurado o paralelismo dos aventais, pois este gira durante o movimento do avental (figura 17). Caso a peça a quinar se localize numa das extremidades, a outra nunca irá avançar excessivamente, pois o veio, que resiste à torção, irá evitar que a biela se mova e que o avental avance demasiado.

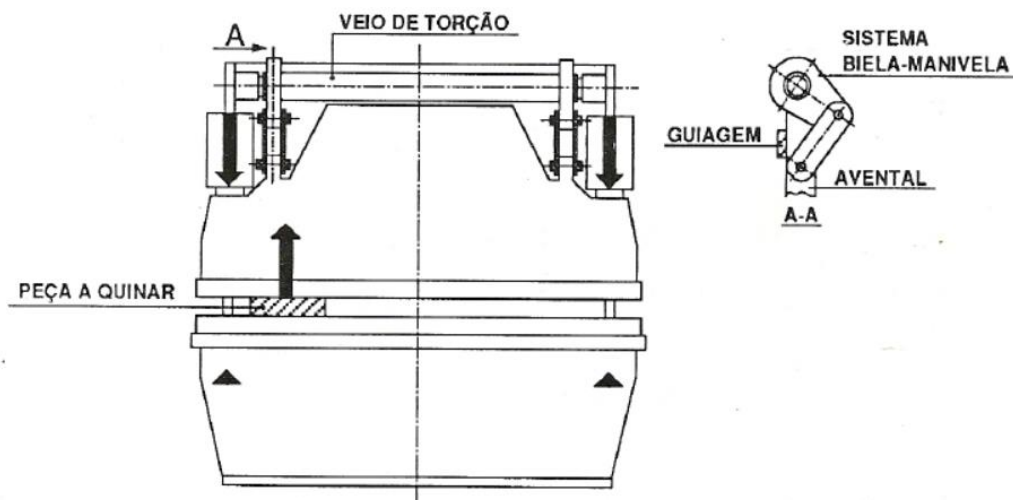


Figura 17 - Princípio de manutenção do paralelismo por veio de torção (Bessa Pacheco, 1992)

A profundidade durante a quinagem é garantida por batentes mecânicos adaptáveis, que se encontram no interior ou exterior dos cilindros de acionamento. A precisão e repetibilidade comparam-se à quinadora de curso ascendente, mas o ângulo de quinagem não pode ser ajustado em carga, dificultando assim a aplicação do conceito CNC efectuada por computador. Com a existência de veios de torção de elevadas dimensões nas máquinas de grande capacidade, e a solicitação constante dos batentes, produzem-se folgas e desgaste nos sistemas mecânicos, restringindo assim o seu campo de aplicação.

2.1.2.2.3 Quinadoras hidráulicas com sincronização hidráulica aproximada e batentes mecânicos

Pode-se caracterizar este tipo de quinadora, como quinadora híbrida. Através desta solução, consegue-se evitar a existência de veios de grande dimensão, como no caso anteriormente referido, utilizando assim um sistema de sincronização hidráulica aproximada, figura 18. Através de um sistema de medida de erro que actua sobre a válvula de sincronismo, quando ocorre desvio do paralelismo, é limitada a entrada de óleo para os cilindros e a saída deste para o depósito. Devido à inexistência de um verdadeiro servomecanismo corrector, verificam-se inclinações excessivas entre os aventais, as quais ocorrem principalmente quando o punção inicia a quinagem da chapa.

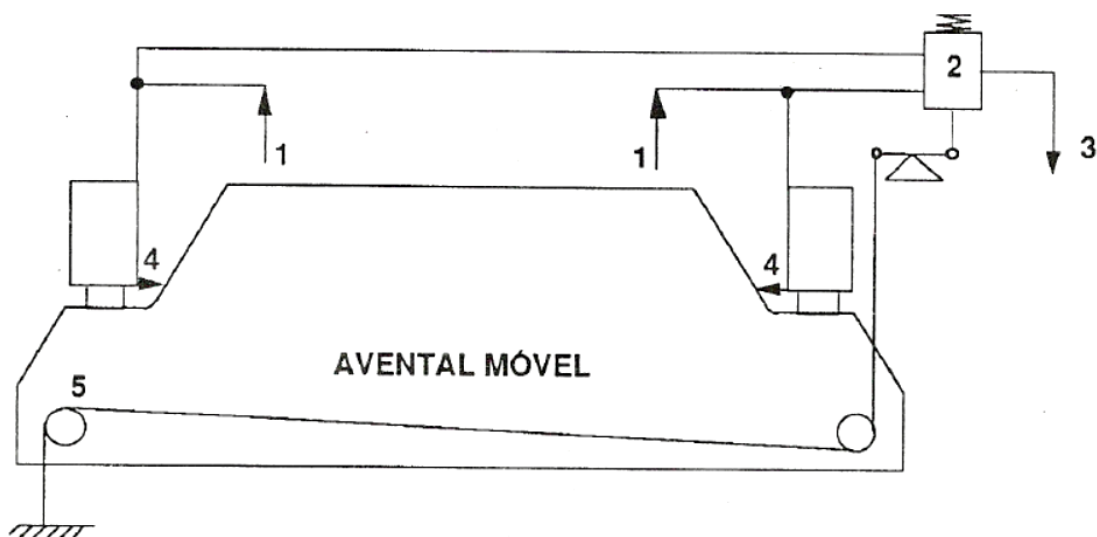


Figura 18 - Princípio de sincronização hidráulica aproximada (Bessa Pacheco, 1992)

2.1.2.2.4. Quinadoras hidráulicas com servomecanismo completo – quinadoras de precisão

Nos dias de hoje, a precisão tornou-se uma das maiores exigências no fabrico de máquinas para a quinagem, principalmente no controlo do paralelismo entre aventais e paragem do avental móvel. Este tipo de máquinas, figura 19, providas com servomecanismo, têm de possuir um bom sistema de medida de erro (evitando atritos, fugas, diferenças de pressão hidráulica, entre outros). O sistema envia a informação desse erro a uma ou mais servo-válvulas hidráulicas e esse sinal será amplificado, permitindo a sua correcção por actuação no sistema hidráulico de alimentação dos cilindros.

O controlo do paralelismo e da profundidade de quinagem necessitam de baixa energia, tornando bastante fácil a interligação destas quinadoras aos sistemas CNC.

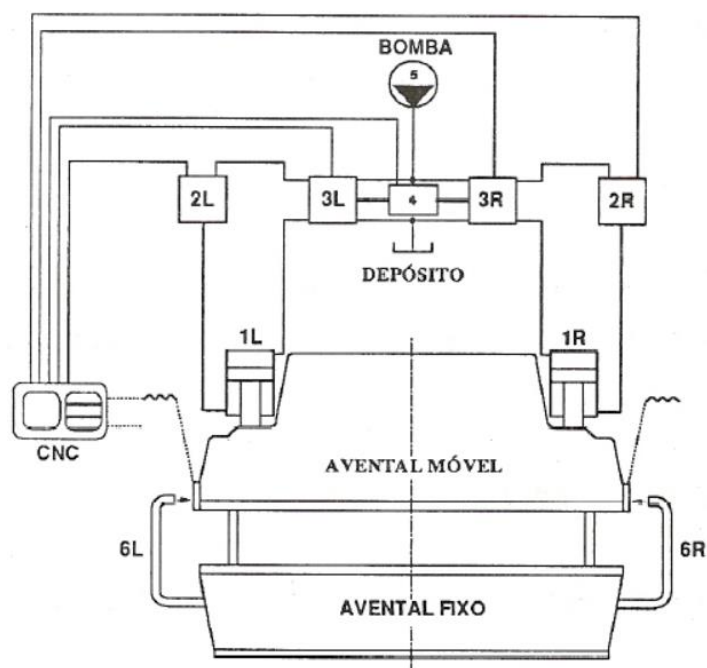


Figura 19 - Principais componentes de uma quinadora moderna de precisão (Bessa Pacheco, 1992)

2.1.2.2.5. Quinadoras hidráulicas com CNC

Actualmente já estão disponíveis os sistemas de quinadoras hidráulicas com CNC (figura 20), que são capazes de oferecer uma programação prévia de todos os tipos de ferramentas de quinagem com que a máquina funcionará, uma programação directa da totalidade da peça a quinar, em que o CNC faz o desenho da peça e cálculo da sequência de quinagem mais favorável, e ainda realiza todo o cálculo de profundidades de quinagem necessárias e posição dos esbarros. Este tipo de quinadoras computadorizadas permite programar a inclinação do avental necessária para realizar quinagens cónicas. Um dos outros pontos favoráveis é a introdução automática do bombeado nos aventais para garantir que durante a operação de quinagem as ferramentas se mantenham rectas, apesar das deformações nos aventais. Em suma, este tipo de quinadoras permite, através do CNC, controlar todos os parâmetros necessários para a obtenção das peças em máxima conformidade.



Figura 20 - Quinadora hidráulica com CNC (Directindustry)

Seguidamente é mostrado um quadro que pretende estabelecer a comparação entre as diferentes características próprias de cada grupo de quinadoras atrás referido, divididas essencialmente pelo tipo de acionamento usado.

Tabela 1 - Comparação entre diferentes tipos de quinadoras (Bessa Pacheco, 1992)

	Tipos de Quinadoras				
	Mecânica	Hidráulica ascendente	Hidráulica c/ veio de torção	Hidráulica de precisão	Hidráulica com CNC
Paralelismo	Excelente	Boa	Excelente	Excelente	Excelente
Precisão c/ carga excêntrica	Boa	Má	Boa	Excelente	Excelente
Precisão prof. quinagem	Excelente	Excelente	Boa	Excelente	Excelente

Rapidez de ciclo	Excelente	Boa	Boa	Boa	Boa
Ajuste do Curso	Mau	Excelente	Bom	Bom	Excelente
Afinação ferramenta	Má	Excelente	Média	Boa	Boa
Ajuste em carga	Impossível	Excelente	Impossível	Excelente	Excelente
Adaptação CNC	Média	Boa	Média	Boa	Excelente
Séries Curtas	Má	Média	Má	Média	Excelente
Custo Inicial	Elevado	Baixo	Baixo	Médio	Elevado
Custo de Manutenção	Elevados	Baixos	Médios	Baixos	Médio

2.1.2.3. Quinadoras eléctricas

O aparecimento deste tipo de máquinas ocorre com a preocupação ambiental e com o elevado consumo de energia das quinadoras hidráulicas, surgiram na década de 90, sendo-lhes atribuído o nome de ecológicas, ou verdes. Durante os últimos anos, muitas têm sido os tipos de quinadoras eléctricas lançadas para o mercado, tais como as de acionamento por fuso de esferas, sistema de correia e polias e as últimas por *direct drive*. Nestas quinadoras, o sistema só absorve energia quando o avental está em movimento, e o consumo em vazio, correspondente a grande parte do tempo de ciclo, é reduzido em comparação ao sistema hidráulico. O controlo de velocidades e da força de quinagem é mais simples no caso do acionamento eléctrico. O CNC actua directamente e automaticamente no servo motor, em qualquer ponto do curso do avental. (Bruno Martins, 2012).

2.1.2.3.1. Correias

Este sistema, constituído por um conjunto de polias e por uma correia, acionadas por dois servomotores, movimenta verticalmente o avental, sendo o retorno ao ponto morto superior auxiliado por molas. A distribuição uniforme das correias ao longo do comprimento da máquina permite que a força exercida pelo órgão móvel à peça a quinar seja também ela uniforme.

2.1.2.3.2. Fuso de esferas e polia + correia

Este é o sistema mais utilizado em quinadoras eléctricas. Um conjunto de fuso de esferas é acionado por um servomotor, por intermédio de um sistema de polia e correia. O fuso de esferas é responsável pela conversão do movimento angular, transmitido pelo motor, em movimento linear do avental. O sistema de polia e correia tem como função a transmissão de movimento do motor para o fuso, assim como da multiplicação de binário fornecido pelo servomotor, por meio de uma relação de redução de velocidade.

2.1.2.3.3. Direct drive

Este sistema é a fusão do sistema de fuso + polia e correia. Um servomotor com um fuso de esferas incorporado no rotor, dispensando o recurso a um sistema de transmissão de polias e correia, traz vantagens a nível de precisão e simplicidade do desenho da máquina. Como desvantagens temos o custo superior do acionamento e a sua baixa capacidade, podendo no entanto ser aplicado a máquinas de pequena dimensão.

2.2. Constituição das quinadoras

Nas figuras 21 e 22, poderá verificar-se os vários elementos e componentes que constituem uma quinadora, com vista frontal e traseria, respectivamente.

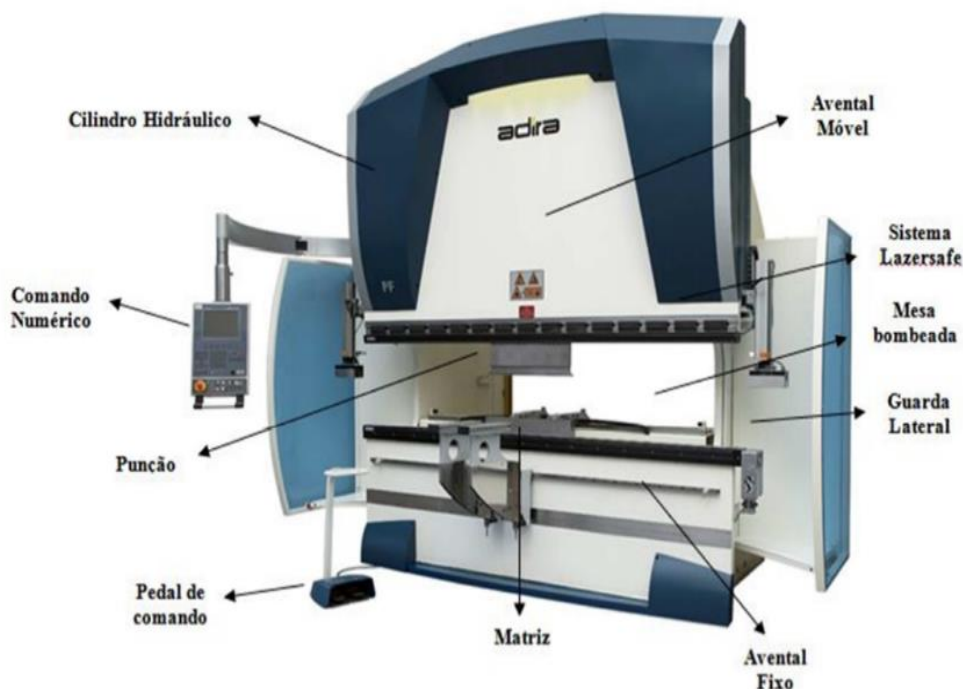


Figura 21 - Componentes de uma quinadora (vista frontal) (Bruno Martins, 2012)

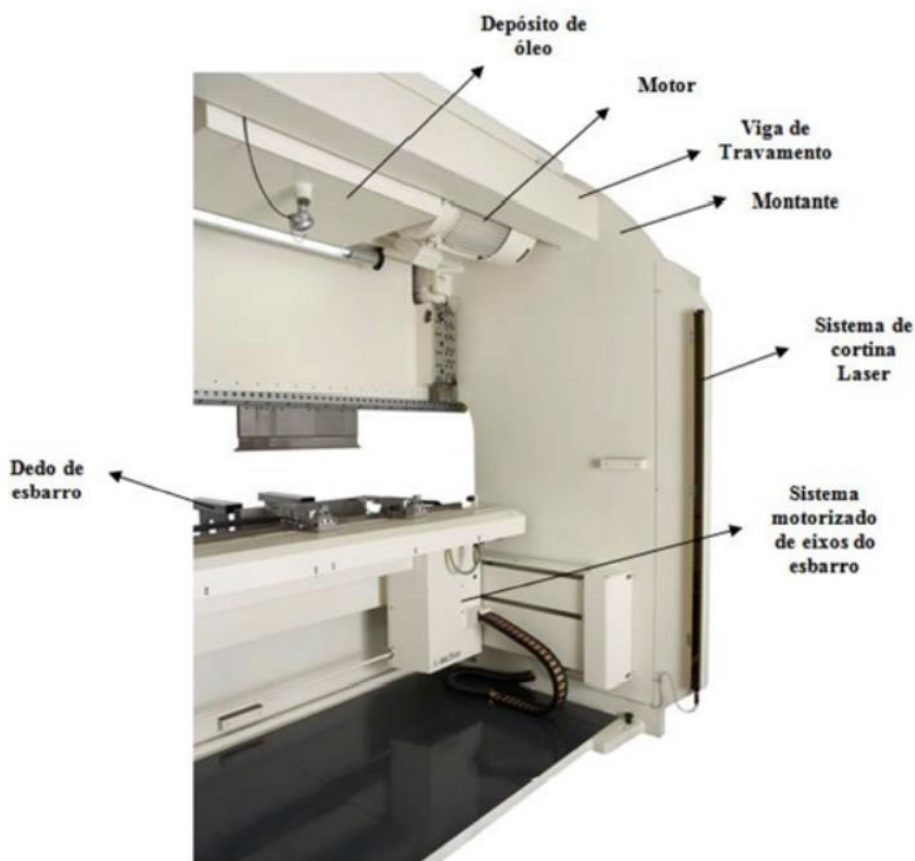


Figura 22 - Componentes de uma quinadora (vista traseira) (Bruno Martins, 2012)

2.3. Fabricantes de quinadoras

Tal como seria de prever, o mercado das quinadoras está em crescente expansão. Cada vez são mais as empresas a produzir este tipo de equipamentos, tanto com soluções idênticas como totalmente inovadoras. Sendo assim, algumas das principais marcas internacionais encontram-se na Europa ou possuem aqui sucursais. As principais marcas são:

- AMADA;
- TRUMPF;
- FINN-POWER;
- BAYKAL;
- WILSON TOOL.

Na Turquia (BAYKAL), tenta-se essencialmente combater o preço, através de máquinas mais simples e económicas, enquanto outras marcas do Norte e Centro da Europa tentam cada vez mais integrar soluções de corte e conformação, assim como automatizar as máquinas, tornando-as mais produtivas. Estas empresas tentam a todo o custo impor-se no mercado,

patenteando e inovando cada vez mais os seus produtos, e ainda adicionando acessórios aos mesmos, para os tornar mais fiáveis e diferentes dos outros. Em Portugal, também é possível encontrar fabricantes deste tipo de equipamentos com muita qualidade, reconhecidos internacionalmente, como é o caso da ADIRA. Esta empresa produz diferentes tipos de quinadoras, indo desde a gama alta até à baixa, ou seja, quinadoras que realizam os trabalhos mais básicos e simples, mas também quinadoras que conseguem ir de encontro às produções que necessitam de um maior grau de operações e automatização.

2.4. Influência das propriedades dos materiais na quinagem

As variáveis que maior influência apresentam nas operações de quinagem são:

- Espessura;
- Resistência e resiliência do material a quinar;
- Orientação do grão.

2.4.1. Espessura

Na quinagem ao ar, as variações de espessura têm influência directa no ângulo de quinagem. A quinagem em chapa mais fina que o nominal terá um ângulo maior, enquanto uma mais espessa apresenta um ângulo menor. Por exemplo, a variação de 0.05 mm na espessura nominal de uma chapa de 1 mm, quinada “V” de 10 mm, é responsável por desvios de um grau no ângulo de quinagem (Bessa Pacheco, 1992). Deverá controlar-se a uniformidade da espessura, utilizando um paquímetro ou micrómetro.

As tolerâncias de espessura variam em função do material e da técnica de laminagem utilizada no processamento da chapa. O alumínio apresenta melhor consistência que o aço. As chapas de aço laminadas a frio mostram tolerâncias de espessura mais apertadas que as laminadas a quente. As tolerâncias deverão ainda ser mais apertadas nos casos em que o material a quinar é extraído de chapas laminadas a frio, quando a chapa apresentar espessura reduzida ou ainda quanto mais estreita for a tira dobrada. Desta forma, deverá ser definida a qualidade do material e a forma como ele deve ser fornecido, como parâmetros de pré-quinagem.

2.4.2. Resistência do material – retorno elástico

Quanto maior for a resistência do material, maior será a complexidade de quinagem. Estas dificuldades ocorrem quando temos forças de quinagem elevadas, com grande probabilidade de ruptura na aresta de quinagem e maior incidência do retorno elástico.

Como exemplo, as chapas de aço inoxidável requerem uma força de 50 a 60 % superior à das chapas de aço macio (Bessa Pacheco, 1992). A contribuir para esta complexidade, temos também o facto do aço inoxidável enrugar facilmente durante a quinagem, dificultando a precisão da operação. Para contornar estes problemas, aplica-se a técnica de distensão do material. Esta técnica consiste em “romper” as fibras do material, aplicando forças elevadas, em que se torna possível conformar mais facilmente o mesmo.

Quanto mais resistente for o material, maior terá de ser o raio de curvatura do punção, devendo-se utilizar matrizes mais largas, para evitar que o material se parta na aresta de quinagem.

No que respeita ao comportamento do material, um dos factores mais difíceis de controlar na quinagem é o retorno elástico. Este consiste na tendência em voltar a uma posição intermédia entre a posição final e inicial após libertação da força de quinagem. Este factor, k , que define o retorno elástico do material, varia consoante a resistência do material, interferindo directamente no cálculo da força de quinagem. Nas ligas macias de alumínio poderá ser desprezável, enquanto nas ligas mais duras deste mesmo material, já não pode ser desprezado. No aço macio o retorno elástico é mais elevado que nas ligas de alumínio, mas menor do que no aço inoxidável. Este efeito é particularmente notável nos aços de alto limite elástico, onde o retorno elástico é bastante significativo e os raios de curvatura mínimos têm que ser ampliados, sob o risco de fractura ou fissuração da chapa na zona de quinagem.

Seguidamente são apresentados na tabela 2 os valores típicos do retorno elástico para diferentes materiais.

Tabela 2 - *Springback factor* K_R (Schuler, 1998)

Material	<i>Springback factor</i> K_R	
	$r_i/s = 1$	$r_i/s = 10$
St 0-24, St 1-24	0.99	0.97
St 2-24, St 12	0.99	0.97
St 3-24, St 13	0.985	0.97
St 4-24, St 14	0.985	0.96

Aços austeníticos inoxidáveis	0.96	0.92
Aços ferríticos de alta temperatura	0.99	0.97
Aços austeníticos de alta temperatura	0.982	0.955
Niquel	0.99	0.96
Al 99 5 F 7	0.99	0.98
Al Mg 1 F 13	0.98	0.90
Al Mg Mn F 18	0.985	0.935
Al Cu Mg 2 F 43	0.91	0.65
Al Zn Mg Cu 1.5 F 49	0.935	0.85

Uma das técnicas mais utilizadas para contornar o problema de retorno elástico consiste em aumentar a profundidade de penetração do punção na matriz (aumentando também o tempo de quinagem) tanto ao ar como a fundo, permitindo assim a adaptação do material por transferência de tensões de compressão. Esta técnica é usada, como referido anteriormente, principalmente na quinagem a fundo. Em algumas peças, o retorno elástico de uma das abas, poderá compensar o retorno elástico de outras quinagens, realizadas na mesma chapa.

2.4.3. Orientação do grão

Este tipo de efeito no material pode condicionar fortemente a quinagem. As abas mais compridas são normalmente executadas segundo a direcção da laminagem, que é a mais desfavorável. Uma das soluções consiste em tirar partido da orientação do grão, onde são realizadas quinagens mais severas, e com raios e tolerâncias bastante rigorosos, perpendiculares à direcção da laminagem. Quando a laminagem ocorre segundo eixos paralelos, deve-se ter em conta que a quinagem deverá ser realizada obliquamente à direcção da laminagem.

A influência da orientação do grão no resultado da quinagem aumenta com a espessura da chapa a quinar e com a resistência do material.

Nem sempre é prático realizar a quinagem obliquamente à direcção da laminagem (figura 23). O uso de chapas com laminagem cruzada ou com uma laminagem suplementar para calibragem da espessura pode reduzir os efeitos adversos da orientação do grão. Outros processos que devem ser tidos em conta, como menos desejáveis, são a utilização de chapa com grão esferoidal ou utilização de chapa calmada ou envelhecida.

Em suma, deverá ter-se em conta no projecto de quinagem as propriedades do material, orientação do grão e sua espessura, facilitando o processo e por sua vez o rigor dimensional da peça realizada. Todas estas propriedades estão dependentes umas das outras.

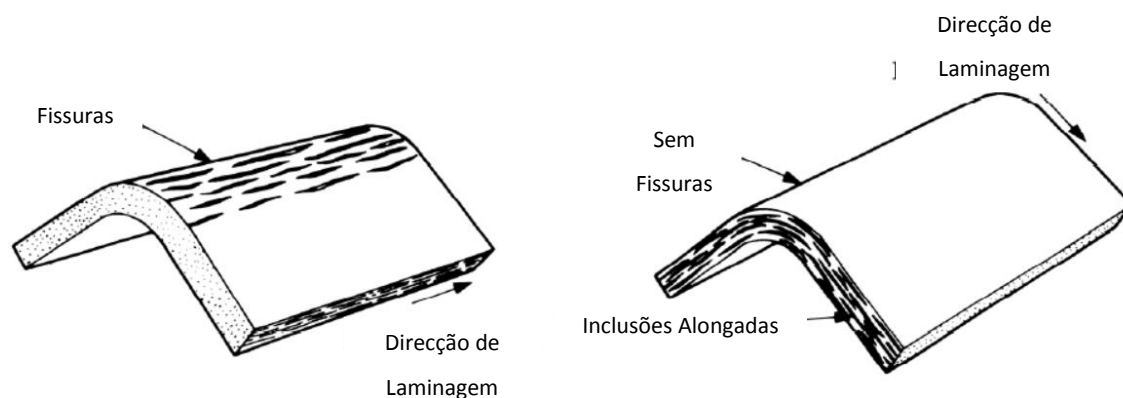


Figura 23 - Direcção de laminagem e fissuras que podem acontecer na quinagem (Francisco Silva, 2007)

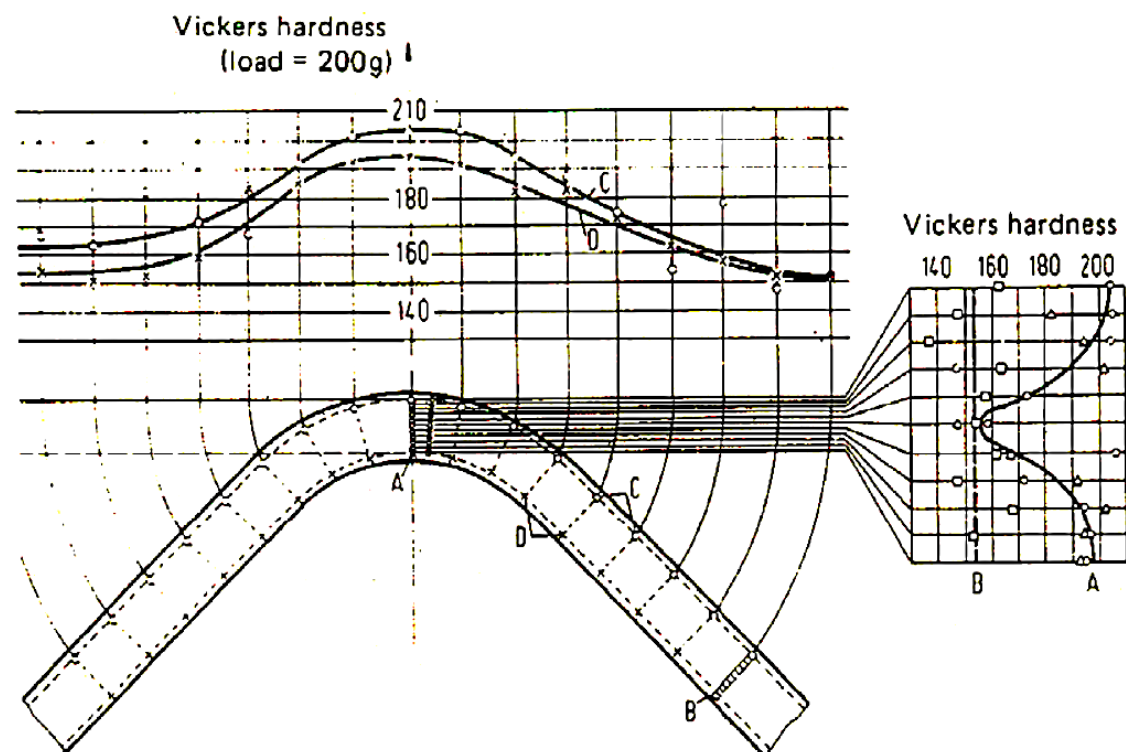


Figura 24 - Variação de dureza numa chapa conformada (Francisco Silva, 2007)

Na figura 24 pode-se comprovar o aumento da dureza na zona conformada, devido à orientação do grão e ao encruamento provocado pelo trabalho a frio. Pela análise da dureza segundo a espessura no raio de curvatura, verifica-se ainda que nas extremidades da chapa, no local que sofreu grandes deformações plásticas, esta é superior à da linha neutra.

2.5. Ferramentas para quinagem e respectiva fixação

As ferramentas para quinagem e sua respectiva fixação são componentes de grande importância na quinagem de chapas, pois sem estas, tais como punções, matrizes e suporte de fixação dos punções, não é possível realizar uma quinagem com tolerâncias apertadas e obter rigor na repetibilidade. Como tal, são referidas seguidamente as várias ferramentas utilizadas na quinagem, respectivas geometrias, empresas que as comercializam suportes, etc.

Relativamente aos punções são apresentados vários tipos de punções:

- Punções convencionais (figura 25 e 26);
- Punções giratórios (figura 27);
- Punções poliméricos (figura 28).

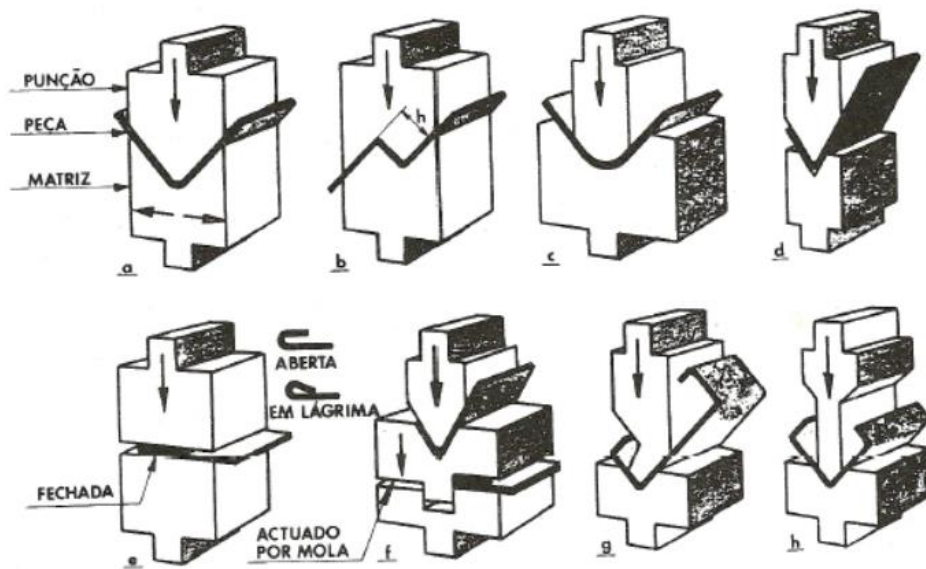


Figura 25 - Vários tipos de punções e respectivas quinagens (Bessa Pacheco, 1992)



Figura 26 - Vários tipos de punções e matrizes (Anak)

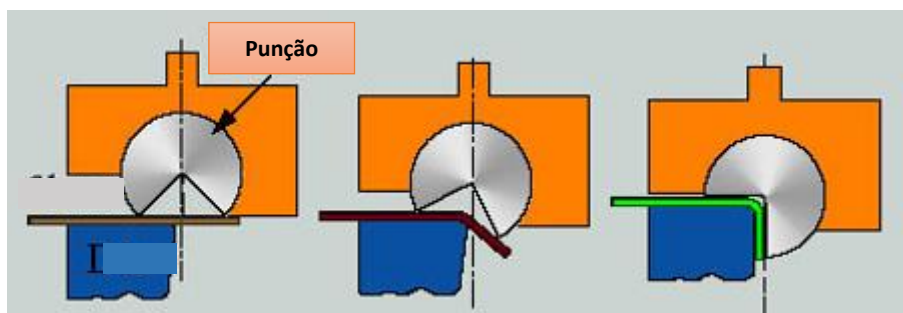


Figura 27 - Punções giratórios (Kalpakjian, 2003)

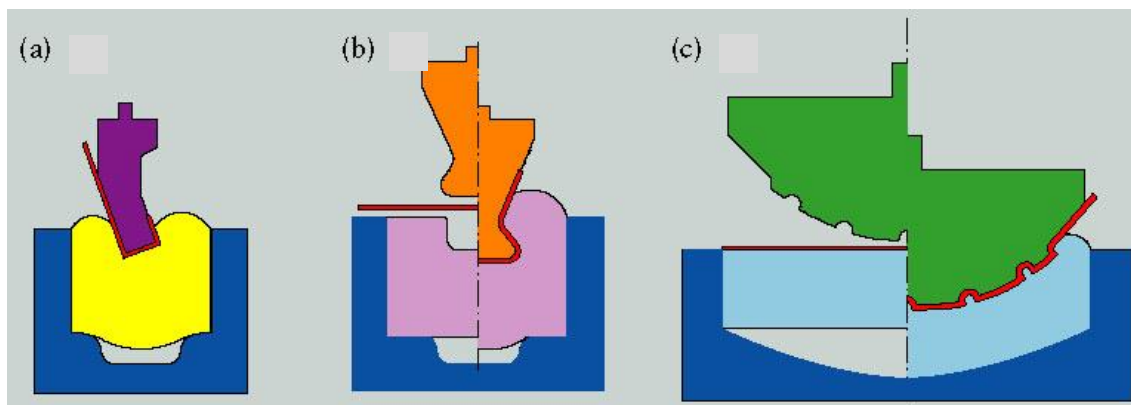


Figura 28 - Punções poliméricos (Kalpakjian, 2003)

2.6.1. Matrizes

O valor da abertura da matriz, também designado por “V da matriz”, funciona como a distância entre apoios da viga durante o processo de flexão (figura 9). Este valor afecta a força requerida para induzir a flexão plástica. O “V” da matriz e o grau de penetração do punção naquela afectam o valor do ângulo de quinagem obtido. O raio interior (r_i) da quinagem é afectado pelo valor da abertura “V” da matriz, na quinagem ao ar, ou então pelo valor do raio do punção, na quinagem a fundo. O raio interior indica um trabalho bem ou mal sucedido, sendo um dos pontos de importante relevância para quantificar o retorno elástico da chapa.

Por razões económicas e simplicidade as matrizes em “V” e os punções correspondentes são as ferramentas mais utilizadas em quinagem. De modo a simplificar todo o processo e torná-lo mais económico, existem matrizes com “V” múltiplos de diferentes aberturas nas suas 4 faces, figura 29, facilitando assim todo o processo de quinagem. A abertura do rasgo “V” da matriz é definida em função da espessura da chapa. O raio no fundo da matriz deve ser, no mínimo, igual ao raio do punção, acrescido da espessura máxima do material a quinar nesse “V”.



Figura 29 - Matriz de “V” múltiplos (Gstatic)

Existem ainda outros tipos de quinagens, para além das matrizes em “V”, sendo estas:

- Quinagem em “U” (figura 30);
- Quinagem de flange com cunha de arrasto (figura 32);
- Quinagem rotativa (figura 33).

A quinagem em “U” consiste numa dobragem simultânea em dois eixos paralelos, figura 31. É usual utilizar um encostador, que garante o contacto com a chapa na zona do fundo do cunho, evitando assim defeitos de forma na peça. Neste tipo de quinagem a força necessária para a operação de quinagem aumenta entre 30 a 40 %, relativamente à quinagem ao ar (IST, 2008).

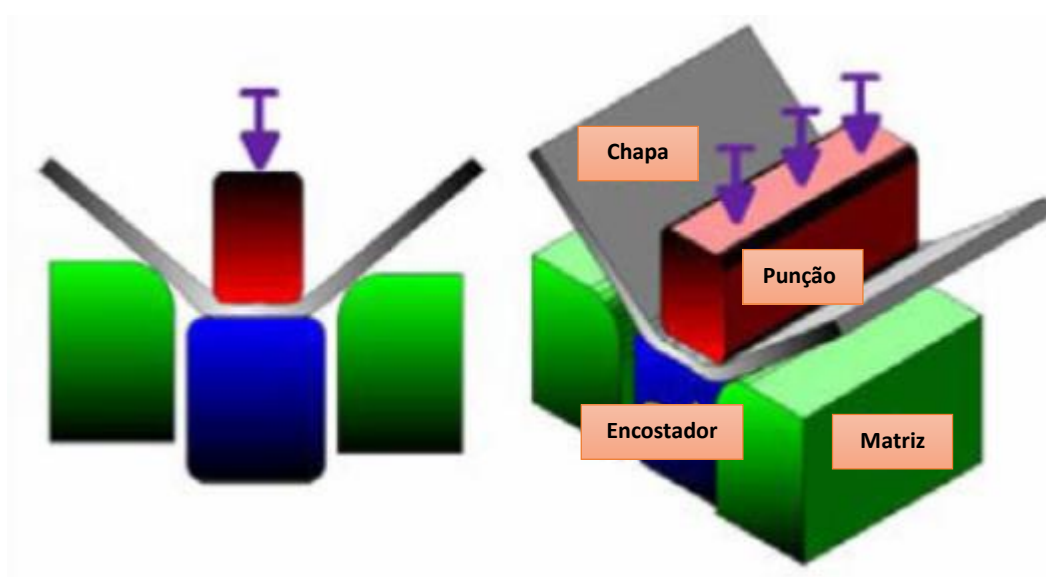


Figura 30 - Quinagem em U (IST, 2008)

Já na quinagem de flange com cunha de arrasto, uma das abas é fixa através do encostador, e a outra é dobrada em 90 ° por meio do cunho de arraste, figura 32. Com a modificação do curso de descida, é possível alterar com facilidade a dimensão da aba conformada e o seu ângulo de dobragem.

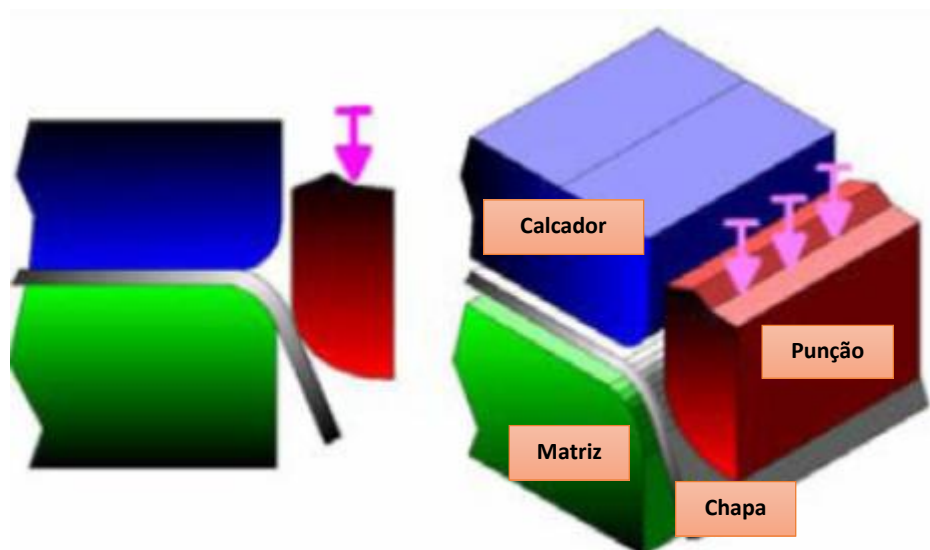


Figura 31 - Quinagem de flange com cunha de arrasto (IST, 2008)

Outro tipo de quinagem bastante utilizado é o processo de quinagem rotativa. Este processo recorre a uma matriz rotativa para conformar a chapa, figura 33. Aqui, já não é necessário utilizar um encostador, e as forças requeridas para a quinagem são baixas. Como em qualquer outro processo de quinagem, ocorre o efeito de retorno elástico, *springback*, e este pode ser compensado, diminuindo o valor do ângulo de acção do punção.

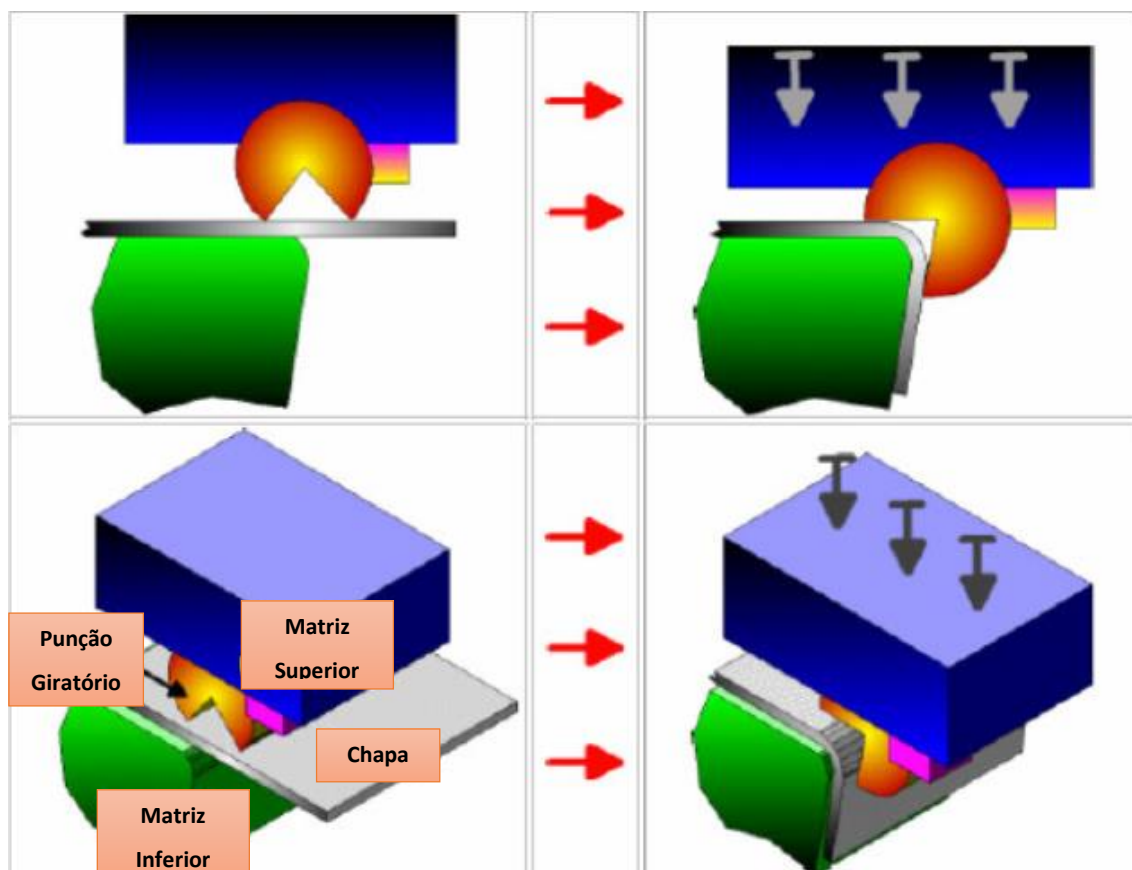


Figura 32 - Quinagem rotativa (IST, 2008)

2.6.1.1. Matrizes para quinagem “ao ar”

No processo de quinagem ao ar, é unicamente utilizado o efeito de flexão plástica simples, através do contacto entre as chapas e as arestas das ferramentas, punção e matriz, ocorrendo a dobragem pretendida. Num material com uma dada espessura, o ângulo de quinagem é definido pela profundidade de penetração do punção na matriz e pelo ângulo de abertura da matriz.

Para compensar o retorno elástico, que ocorre neste processo, é necessário realizar uma sobre-penetração do punção, que conforma a chapa para além da dobragem final. A figura 9 mostra este tipo de quinagem.

2.6.1.2. Matrizes para quinagem “a fundo”

Na quinagem a fundo (na qual ocorre a quebra do nervo), a chapa é esmagada entre o punção e a matriz no final da operação e o espaçamento entre cunho e matriz é inferior à espessura da chapa. Geralmente, é utilizada para chapas de espessura inferior a 3 mm e permite reduzir ou até mesmo eliminar a recuperação elástica. A força necessária para a operação é consideravelmente superior à da quinagem ao ar, podendo o valor triplicar ou quintuplicar. Este tipo de quinagem esta representado na figura 33.

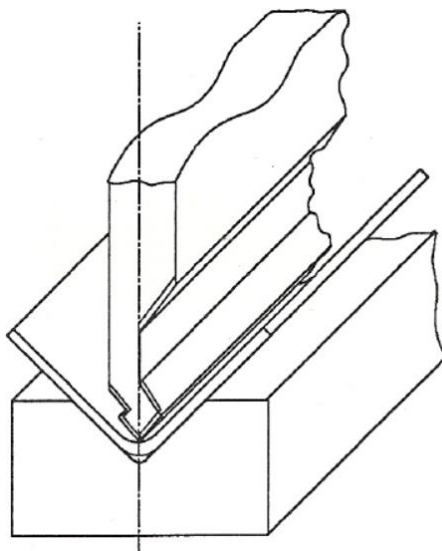


Figura 33 - Quinagem a fundo - Contacto entre a chapa e as faces das ferramentas (Bessa Pacheco, 1992)

2.6.1.3. Intermediários porta-punções

Nas máquinas quinadoras de gama baixa, as deformações dos aventais compensam-se através do ajuste manual dos intermediários porta-punções, figura 34.

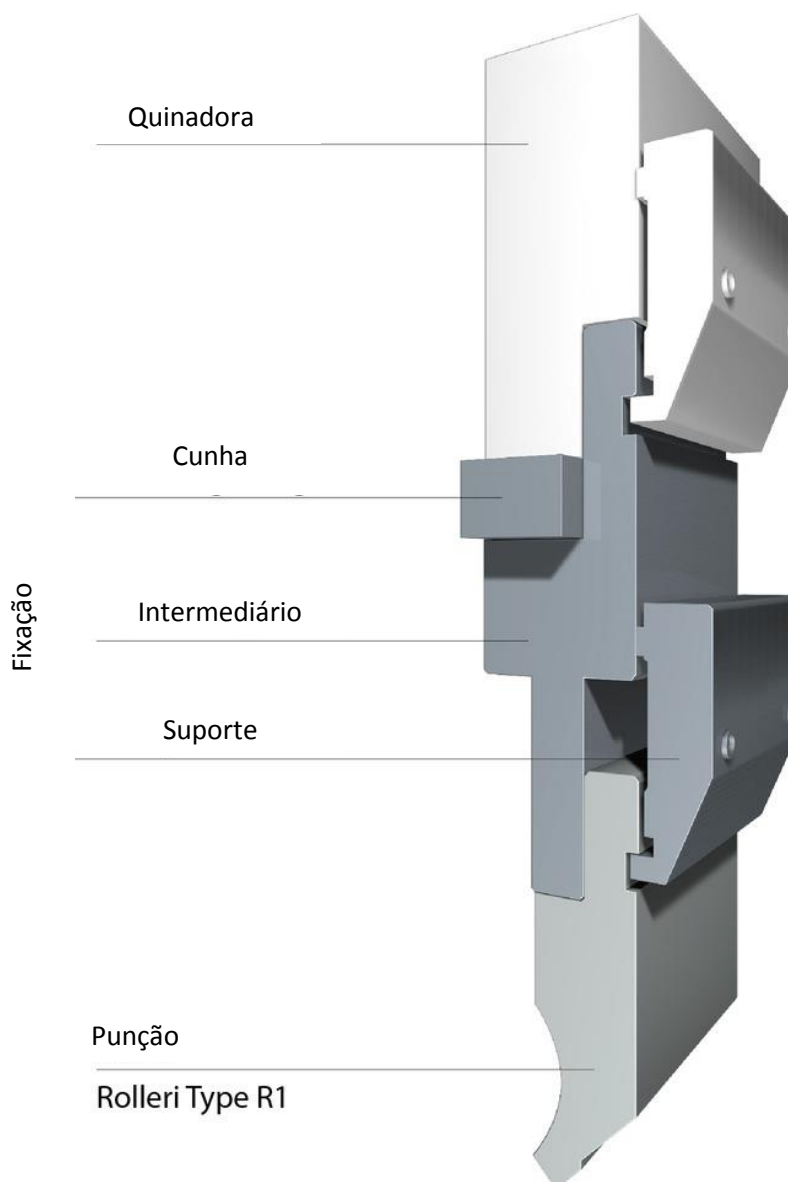


Figura 34 - Intermediário montado no avental superior da quinadora, juntamente com o sistema de fixação e punção montados (Rolleri 1)

Estes mecanismos fixam os suportes e os punções ao avental móvel, e possibilitam o ajustamento através da cunha, permitindo assim posicionar os punções na situação de carga, para que estes penetrem a mesma distância na matriz em todo o comprimento de trabalho. Com este procedimento, obtém-se uma quinagem constante em todo o processo, mantendo a repetibilidade da mesma. Numa situação em que os aventais não estejam paralelos, os punções colocados no centro da quinadora poderão penetrar mais na matriz do que os das extremidades, obtendo assim uma quinagem não linear. A figura 35 representa como se pode controlar através de acessórios as deformações dos aventais, na figura 35 a), é apresentado um intermediário em que se pode controlar as deformações ajustando a cunha do mesmo,

através de um martelo, e na figura figura 35 b), é também possível controlar a deformação através de uma mesa de bombeio que será explicado a seguir.

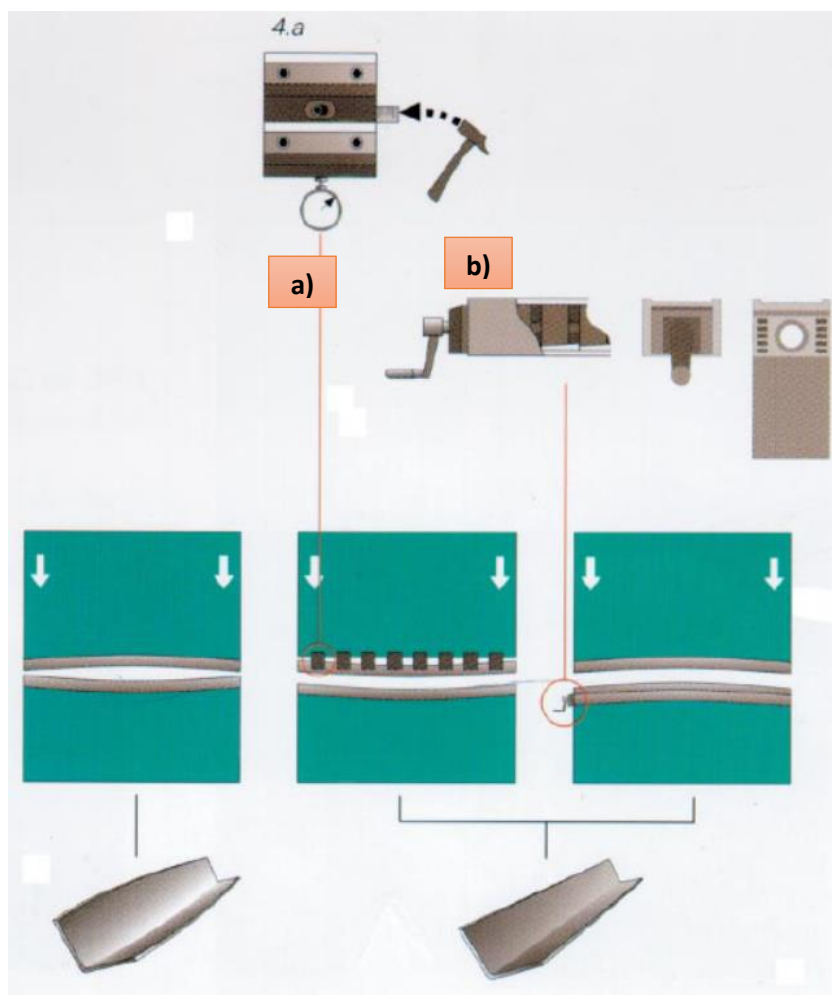


Figura 35 – Sistemas de compensação de deformações dos aventais (Comeq, 2002)

Embora seja uma solução bastante simples e económica, está associada a uma grande morosidade em todo o processo de afinação dos mesmos, que terá de ser repetido sempre que sejam alteradas as condições de carregamento. Isto poderá ser realizado de forma automática, através da introdução de mesas de bombeio e outros mecanismos no avental fixo, permitindo a correcção automática de deformações do avental superior, quando fortemente solicitado.

2.6.1.4. Mesas de bombeio

Este sistema tem como base a mesma que os intermediários, sendo mais rápido e eficaz. Este sistema mecânico é dos mais utilizados pelos fabricantes de quinadoras. O objectivo deste mecanismo é impor uma contra-flecha ou bombeado na mesa de suporte da matriz para

compensar as deformações sofridas pelos aventais quando são carregados e assim garantir o paralelismo entre os mesmos.

O sistema mecânico é constituído por cunhas, com inclinação que varia progressivamente da periferia para o centro (onde é máxima), que estão associadas a um fuso que pode ser accionado manualmente ou mesmo através de um servomotor. Na utilização de um servomotor, este é controlado pelo CNC, calculando automaticamente o bombeado a ser introduzido através dos dados inseridos pelo operador. Este sistema consegue garantir os mesmos parâmetros que os intermediários, sendo mais eficaz e rápido. Este sistema pode ser visualizado na figura 35, 36 e 37.



Figura 36 - Mesa de bombeio automática (Wila 1)



Figura 37 - Mesa de bombeio manual (Wila 1)

2.6.2. Punções

Um punção poderá ter as mais variadas geometrias, em parceria com a matriz, para realizar diversas dobras em chapas pelo processo de quinagem. Como exemplo, o raio na extremidade do punção é normalmente superior à espessura mínima do material a quinar (Bessa Pacheco,

1992). No fundo da matriz, o raio deverá ser igual ao raio do punção, acrescido da espessura da chapa. Caso se pretendam obter ângulos de 90° em chapas finas, será necessário uma matriz de abertura em “V” com 90° .

Poderão realizar-se quinagens opostas com punções e matrizes específicos, consistindo fundamentalmente numa ferramenta combinada com um desenho especial em que realiza as duas dobragens necessárias da chapa, na mesma operação (figura 38).

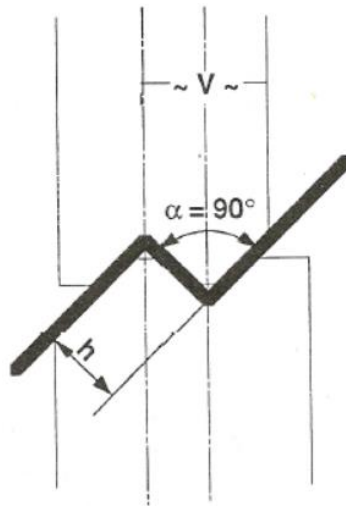


Figura 38 – Exemplo de quinagens opostas (Bessa Pacheco, 1992)

Outro tipo de quinagem, mais utilizado neste tipo de processo, é a quinagem para obtenção de ângulos agudos, utilizando um punção e matriz aguda. Este tipo de ângulos é usado, como início do processo de quinagem, para o fecho de uma dobra a realizar por ferramentas planas. Também são muitas vezes usadas ferramentas duplas, que consiste em realizar a quinagem através do punção com ângulo agudo a primeira operação e depois a matriz realizar o fecho da aba (figura 39 e figura 25 f)). Este tipo de ferramentas apresenta normalmente um ângulo compreendido entre 30 a 45° , mas permite quinagens ao ar até 180° .

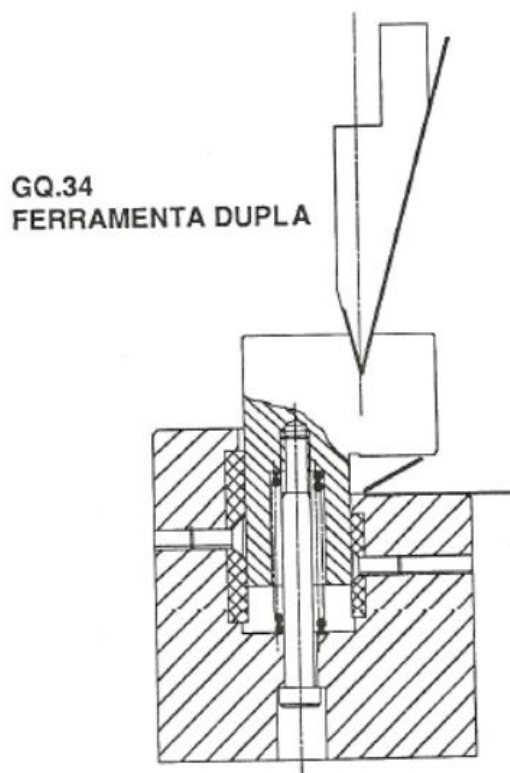


Figura 39 - Exemplo de ferramenta dupla (Bessa Pacheco, 1992)

Exemplo de ferramenta dupla

Numa sequência de quinagem, poderá ser necessário o fecho das abas, técnica que poderá ser realizada em três formas, como indica a figura 40.



Figura 40 - Tipos de fecho de abas (Bessa Pacheco, 1992)

Para a realização desta operação, é sempre necessária a quinagem em ângulo agudo na zona que irá ser esmagada. O processo tecnológico de quinagem também permite a obtenção de grandes raios, que podem ser feitos por quinagem a fundo, utilizando ferramentas rígidas, ou então usando matrizes resilientes e um punção com um raio grande. A utilização de ferramentas rígidas origina o surgimento de vincos à medida que a quinagem progride. Já na utilização de matrizes resilientes, a qualidade da superfície quinada é perfeita.

Para seleccionar as ferramentas correctas existentes na oficina, ou optar pelo fabrico especial de ferramentas, é fundamental definir a sequência de quinagem mais conveniente e simples para o processo. Por exemplo, iniciar preferencialmente o processo na quinagem de abas curtas e ir progredindo para as abas mais compridas. Deste modo, previne-se a rotura das abas. Muitas vezes, o projecto de sequência de quinagem tem em consideração este tipo de defeitos, em que se realiza uma quinagem mais apertada e a oposta mais aberta, em que, aquando da recuperação elástica do material, estas se compensarão uma à outra. Hoje em dia, os CNC's permitem a realização deste trabalho automaticamente, a partir do desenho da peça.

Na figura 41 poderá ver-se uma sequência de quinagem mais adequada para esta peça.

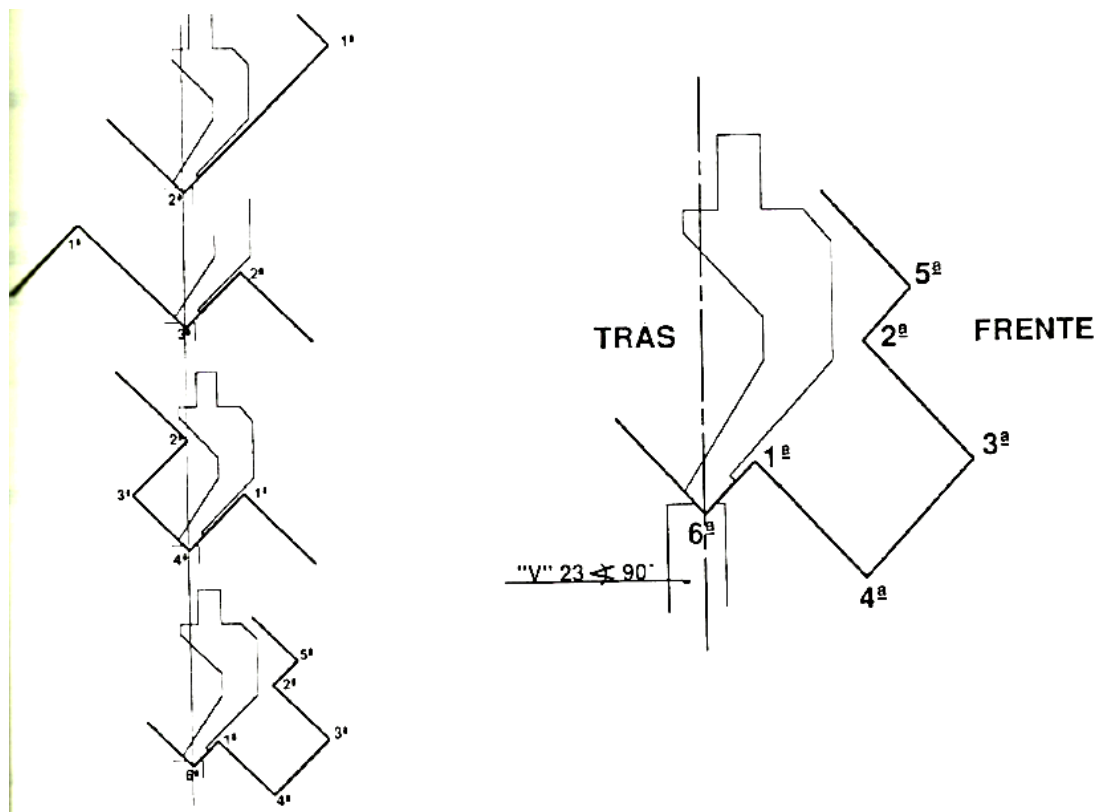


Figura 41 - Sequência de quinagem (Bessa Pacheco, 1992)

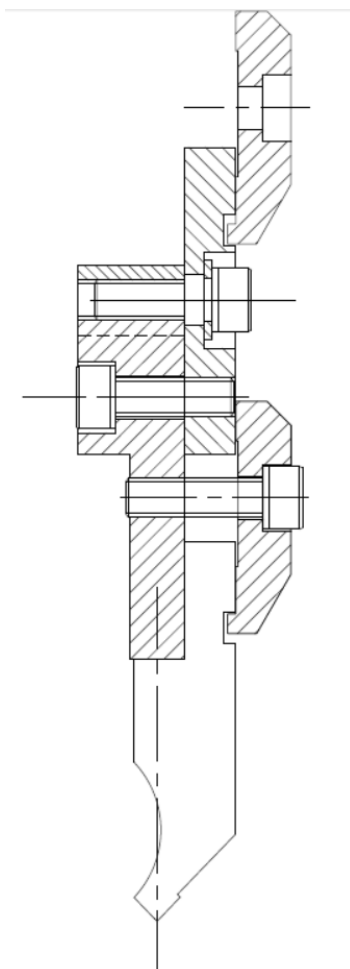


Figura 42 – Transmissão da força aplicada do avental até ao punção

Como se pode verificar na figura 42, o punção é a ferramenta que recebe, através do intermediário, que está sempre presente numa quinadora, a força imposta pelo avental superior. O ponto mais inferior do punção, que define como a chapa irá ficar conformada, está completamente alinhado com o intermediário e por sua vez com o avental superior, de onde é transmitida a força. Assim evita-se a transmissão de esforços para além dos axiais para as ferramentas, que poderia originar defeitos nas peças e sobrecarga nas ferramentas. Como tal, os suportes de fixação deverão alinhar as ferramentas, tal como é representado na figura, para garantir que a força é transmitida e criação de esforços indesejados.

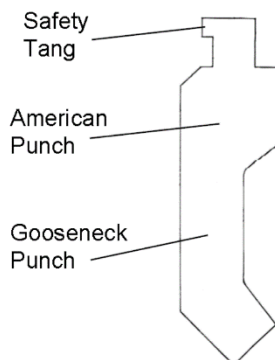


Figura 43 - Nomenclatura das ferramentas (Comeq, 2002)

Na figura 43 apresenta-se a nomenclatura usada no punção, para o tipo de punção americano, que difere do europeu principalmente na zona do *Safety Tang*, como se pode verificar na figura 43 e 44. Um outro aspecto a referir nas ferramentas, é a zona denominada por *Gooseneck Punch* (figura 43), que permite uma maior flexibilidade de fabrico quando se torna necessária a realização de várias quinagens na mesma chapa, como no exemplo da figura 41. Assim, consegue-se que não ocorram colisões entre a chapa e a ferramenta, permitindo o fabrico de peças mais complexas por quinagem com ângulos mais apertados. Para a obtenção de ângulos mais apertados, é comum usar o tipo de punções exemplificados na figura 45.

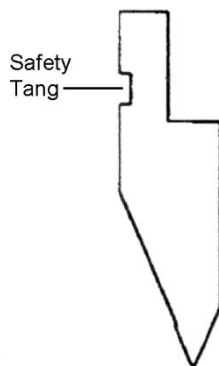


Figura 44 - Nomenclatura das ferramentas (Comeq, 2002)



Figura 45 - Ferramenta tipo faca, para raios de quinagem apertados (Comeq, 2002)

2.6.3. Sistemas de fixação dos punções

Nos dias de hoje, e com a utilização das quinadoras CNC, tornou-se primordial a preocupação de associar a quinagem à filosofia “*Just-in-Time*”, reduzindo os custos e tempos de preparação.

Nas quinadoras CNC, a maior parte do tempo é dedicada à pré quinagem, que consiste na mudança de ferramentas, onde constantemente se tem de apertar e desapertar os sistemas de fixação dos punções sempre que seja necessária a alteração de uma das ferramentas.

A evolução dos sistemas de fixação dos punções tem seguido todo o avanço tecnológico que tem vindo a ocorrer na indústria em geral, pelo que os parafusos foram substituídos por cilindros hidráulicos. Nestes sistemas o operador, dando sinal no CNC, origina um impulso eléctrico que liberta ou aperta o suporte, o que permite o aperto e desaperto rápido dos punções, diminuindo assim o tempo de preparação. Os sistemas de fixação podem ser de aperto manual, pneumático ou hidráulico.

Mas, como em todos os sistemas, é necessário ter em conta alguns requisitos importantes para conforto e segurança do operador e fixação conveniente durante a quinagem.

Como factor primordial na segurança do operador, o punção, quando colocado no suporte, deverá ficar apoiado nos dentes de engate e não cair sobre o operador. O mesmo acontece após quinagem, quando é necessária a alteração de ferramenta, ou seja, quando o suporte é destravado, a ferramenta deverá ficar apoiada no dente, só saindo quando o operador executa o movimento de retirada da ferramenta.

Outro dos requisitos importantes, durante a quinagem, é a fixação do suporte em todo o seu comprimento a ferramenta. Por exemplo, se o comprimento do suporte é de 150 mm, a ferramenta deverá ficar completamente fixa em todo o seu comprimento, ou seja, a força deverá ser uniforme em todo o comprimento, ou então, caso se use uma ferramenta com menores dimensões numa das extremidades do suporte, esta deverá ficar completamente fixa, não se movendo durante a operação de quinagem.

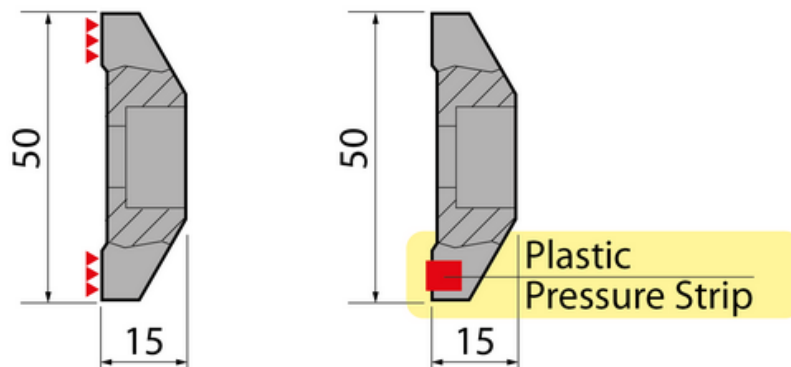


Figura 46 - Suporte com faixa de pressão em plástico, que garante a fixação de ferramentas curtas (Rolleri 2)

Na figura 46 observam-se dois tipos de suportes de gama baixa, um sem o denominado *Plastic Pressure Strip* e outro com esta tira, colocada em todo o comprimento do suporte, que serve essencialmente para garantir que a ferramenta fica completamente ajustada ao intermediário, garantido assim uma fixação uniforme para as ferramentas mais curtas. Na figura 34 (imagem que ilustra o intermediário) está representado o punção completamente fixo no intermediário e no suporte.

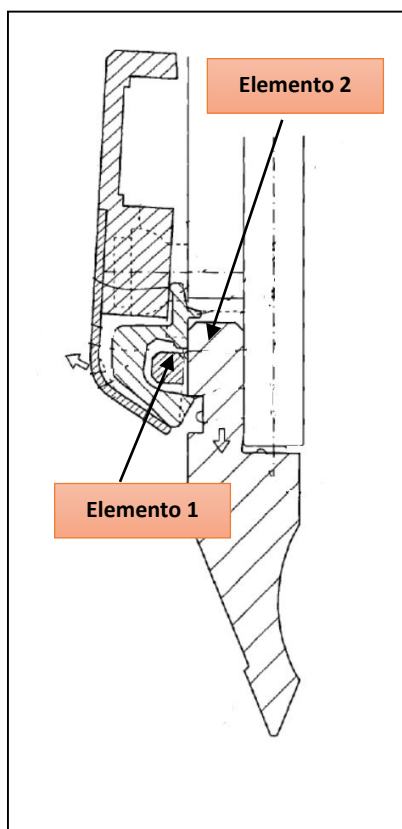


Figura 47 - Sistema de fixação *TEDA*, vista em corte (Giavelli 2008)

A figura 47 representa o sistema de segurança dos suportes da *TEDA* (representação obtida da patente do sistema em causa) em que o punção fica completamente apoiado no elemento 1, sem risco de causar acidentes nos operadores. Pela introdução do punção no sistema de aperto, o elemento 1 move-se, libertando espaço para este entrar e, de seguida, o mesmo elemento volta a sua posição de repouso, como ilustra a figura 48, entrando no *Safety Tang* do punção para garantir a fixação, suportando-o. Quando o operador apertar a alavanca, o suporte ajusta-se ao intermediário na posição correcta para a operação de quinagem. O elemento 2 garantirá a fixação uniforme de todos os punções ao longo de todo o comprimento do suporte.

É necessário referir que os sistemas de fixação se encontram todos patenteados, por empresas especializadas na área e, como tal, estes têm um custo acrescido para o cliente, que ao adquirir um novo suporte, está a pagar o

desenvolvimento de um novo sistema de fixação que irá ser lançado futuramente no mercado. Sendo os sistemas de fixação criados por uma empresa nacional e devidamente patenteados, estes só teriam associados o custo de produção, o que se reflectiria no preço de venda ao cliente, podendo assim concorrer directamente no mercado e continuar o desenvolvimento de novos sistemas de fixação.

2.6.3.1. Sistemas apresentados pela ROLLERI

Vários são os sistemas apresentados por esta marca italiana, indo desde os sistemas de aperto manual, passando pelos pneumáticos e até aos hidráulicos.

Como sistemas de fixação manual são apresentados os sistemas:

- Sistema *Standard*;
- Sistema rápido ROL100;
- Sistema rápido ROL1;
- Sistema rápido ROL4;
- Sistema W-ROL PN;
- Sistema ROL3;
- Sistema ROL2 (fixação de matrizes);
- *Movable Die Clamps* (fixação de matrizes).

O sistema *standard* permite alojar ferramentas ROLLERI do tipo R1, figura 48, ou seja, que incluem *Safety Tang*. Este tipo de sistema permite a possibilidade de fixar duas ferramentas no mesmo intermediário, em faces opostas, denominando-se por sistema KDS, figura 49 (neste caso a troca de ferramentas ocorre na horizontal). Um acessório importante, é a tira de plástico de pressão, que garante a fixação uniforme das ferramentas de menor comprimento. Este tipo de suportes é de aperto manual, podendo ser considerados os suportes de gama baixa da ROLLERI.



Figura 48 - Sistema normalizado (Rolleri 3)



Figura 49 - Sistema normalizado KDS (Rolleri 3)

O sistema rápido ROL100 (figura 50 e 51), lançado recentemente para o mercado pela ROLLERI, permite aperto manual (figura 52) e pneumático (figura 53). Neste tipo de sistema conseguem-se menores tempos de preparação, conforme referido anteriormente, pois neste tipo de suporte as ferramentas são trocadas na vertical, com uma operação rápida e segura, pois quando ocorre o desaperto destas do suporte, não caem, tendo o operador de levantar a ferramenta para libertar os dentes de apoio e depois a remover. No aperto, basta apenas apertar um parafuso. Este tipo de sistema torna bastante fácil a troca de ferramentas.



Figura 50 - Sistema ROL 100 (Vista lateral) (Rolleri 4)



Figura 51 - Sistema ROL 100 (Vista inferior) (Rolleri 4)



Figura 52 - Sistema ROL 100 manual (Rolleri 4)



Figura 53 - Sistema ROL 100 pneumático (Rolleri 4)

O sistema rápido ROL1 assemelha-se bastante ao sistema *standard*, tendo como diferença a variedade aplicativa, sendo possível fixação manual (figura 54), pneumática (figura 55) ou hidráulica (figura 56). A fixação é feita através de rolamentos esféricos de molas, que são usados principalmente como segurança, evitando assim a queda de ferramentas. Neste sistema, tal como o ROL100, a entrada e saída das ferramentas é feita na vertical, reduzindo assim o tempo de mudança de ferramentas e aumentando a produtividade. É possível a utilização do sistema de aperto nas duas faces do intermediário (figura 57).



Figura 54 - Sistema ROL 1 manual (Rolleri 5)



Figura 55 - Sistema ROL 1 pneumático (Rolleri 5)



Figura 56 - Sistema ROL 1 hidráulico (Rolleri 5)



Figura 57 - Sistema ROL 1 manual KDS (Rolleri 5)

O sistema rápido ROL4 tem como grande vantagem a utilização do sistema KDS, que consiste no sistema de aperto nas faces do intermediário, utilizando assim duas ferramentas e dois suportes, um em cada face do intermediário. A principal desvantagem está relacionada, tal como nos sistemas *standard*, com a entrada da ferramenta que se efectua na horizontal ao suporte. Este sistema permite fixação manual (figura 58) e hidráulica (figura 59).



Figura 58 - Sistema ROL 4 manual KDS (Rolleri 6)



Figura 59 - Sistema ROL 4 hidráulico KDS (Rolleri 6)

O sistema W-ROL PN (figura 60, 61, 62 e 63) difere dos outros por permitir a utilização de ferramentas ROLLERI tipo R2 e ainda ROLLERI tipo R1. Neste tipo de sistema, as ferramentas podem entrar e sair verticalmente ou horizontalmente, dependendo da sua geometria. As ferramentas com entrada na vertical têm de apresentar os seguintes sistemas:

- ROL1-System;
- QuickLock-System.

O motivo de estas ferramentas só poderem entrar na vertical, deve-se essencialmente ao formato do *Safety Tang*, que segue o estilo europeu, que se poderá verificar na figura 44.

Horizontalmente, terão de entrar ferramentas que contenham pinos de segurança. Este sistema usa exclusivamente, como sistema de fixação, o sistema pneumático.



Figura 60 - Sistema W-ROL PN pneumático (Rolleri 7)



Figura 61 - Sistema W-ROL PN fixo no avental superior (Rolleri 7)



Figura 62 - Sistema W-ROL PN fixo no avental superior (Rolleri 7)



Figura 63 - Sistema W-ROL PN (vista lateral) (Rolleri 7)

O sistema ROL3 (figura 65) permite única e exclusivamente a utilização de ferramentas do tipo R3 e RX. A entrada das ferramentas é feita na vertical ou horizontal, dependendo do tipo de punção usado (figura 64), onde o punção fica apoiado numa das faces do suporte. Este apoio na face do suporte funciona como macho do *Safety Tang*, onde a ferramenta, após desaperto, fica apoiada. Em termos de solução construtiva, este sistema assemelha-se ao sistema W-ROL PN onde o aperto das ferramentas é feito hidraulicamente.

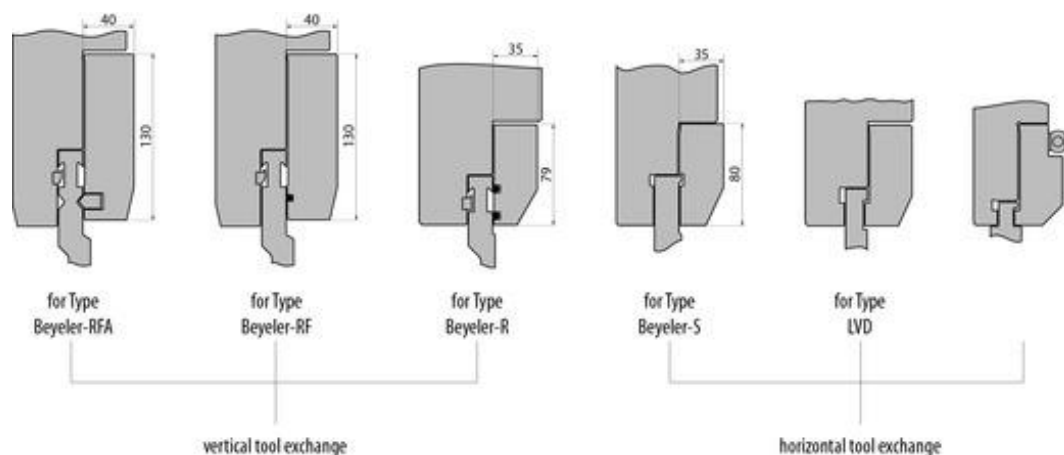


Figura 64 - Tipos de *Safety Tang* admissíveis no sistema ROL 3 (Rolleri 8)



Figura 65 - Sistema ROL 3 (Rolleri 8)

O sistema ROL2 difere dos outros, pois este sistema é para fixação de matrizes, em que o operador pode movimentar a ferramenta para a posição desejada, podendo considerar-se um sistema de esbarros. Este sistema é constituído por um mecanismo de molas e placas de fixação ROL2 CLAMP1, que estão posicionados no revestimento interno do sistema figura 68. Com a inserção de uma borracha especial dentro das placas de fixação, é garantido um melhor posicionamento das ferramentas. A força é uniformemente distribuída, permitindo a utilização de ferramentas mais curtas. Podem ser aplicadas matrizes ROLLERI tipo R1. Como grande vantagem deste sistema poderá pontar-se a possibilidade de uma rápida troca de ferramentas,

reduzindo custos de produção e aumentando o rendimento. Este sistema permite a fixação manual, hidráulica e pneumática (figura 67 e 68).



Figura 66 - Sistema ROL 2 (Rolleri 9)



Figura 67 - Sistema ROL 2 (Rolleri 9)



Figura 68 - Sistema ROL 2 (Rolleri 9)

O sistema *movable die clamps* é também usado para fixação de matrizes, permitindo a fixação de matrizes Rolleri Tipo R1. A troca de ferramentas é significativamente mais fácil, porque estas podem deslizar lateralmente sem a sua elevação do suporte (figura 69 e 70).



Figura 69 - Sistema *movable die clamps* fixo no avental inferior (Rolleri 10)

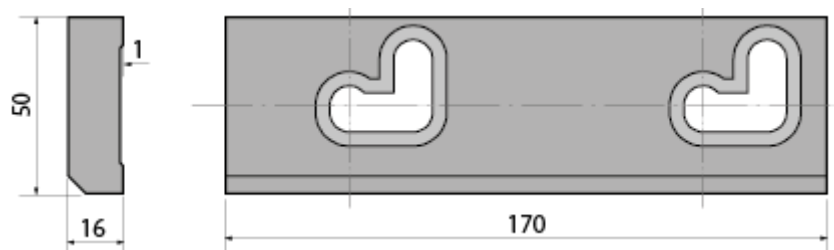


Figura 70 - Sistema *movable die clamps* (Rolleri 10)

Mais à frente, no subcapítulo 3.2 – Situação inicial, do capítulo desenvolvimento, na figura 82, é explicado em detalhe como funciona um sistema semelhante a estes apresentados pela *Rolleri*.

2.6.3.2. Sistemas apresentados pela WILA

Esta empresa holandesa, como qualquer outra, tem como principal objectivo inovar e distinguir-se dos seus concorrentes directos. Mas estas empresas, que se dedicam ao fabrico de quinadoras e ferramentas, têm em comum um objectivo: aumentar a produtividade e segurança das quinadoras, em que o produto se torna resultado desse objectivo. A *Wila* desenvolveu um sistema que difere dos outros já implementados, tendo um novo sistema de ferramentas padrão, complementando os já existentes, europeu e americano.

O sistema *Wila* apresenta nas suas ferramentas um *Safety-Click*, figura 71, facilitando o encaixe e a libertação da ferramenta pelo operador.



Figura 71 - Punção *WILA Safety Click* (Westbrook-eng)

A Wila apresenta os seguintes sistemas de fixação:

- *New Standard Premium Clamping System;*
- *New Standard Pro Clamping System;*
- *American Style Clamping System.*

O sistema *New Standard Premium* apresenta uma óptima precisão e facilidade de operação (figura 72). As superfícies de pressão das ferramentas apresentam 56 HRC de dureza, minimizando assim o desgaste e mantendo a precisão de aperto. Este sistema é capaz de manter a força uniformemente distribuída em todo o seu comprimento, garantindo a total fixação de ferramentas mais curtas. Permite o aperto de ferramentas que sejam portadoras do sistema *safety tang* e rolamentos esféricos de molas (figura 73 e 74). O sistema hidráulico permite a utilização de robôs para as trocas automáticas de ferramentas. Nas suas extremidades, este sistema apresenta guardas, que evitam danos para o sistema e ferramentas de aperto, permitindo ainda a inserção das ferramentas na horizontal com toda a facilidade.



Figura 72 - Sistema *New Standard Premium* (Wila 2)

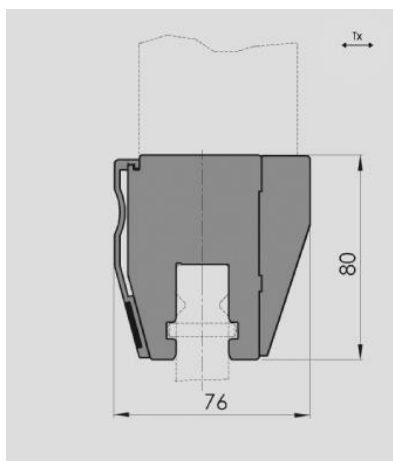


Figura 73 - Vista lateral para diferentes tipos de punções do sistema *New Standard Premium* (Wila 2)

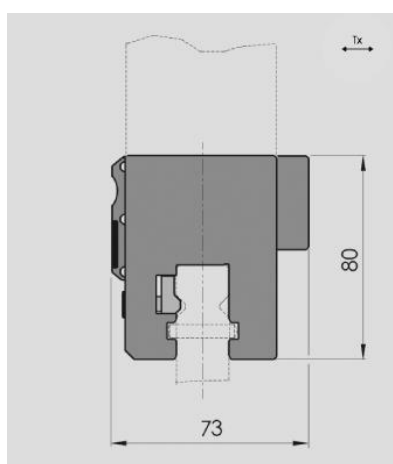


Figura 74 - Vista lateral para diferentes tipos de punções do sistema *New Standard Premium* (Wila 2)

Outro sistema apresentado pela *Wila* é o sistema *New Standard Pro* (figura 75). Este sistema é muito semelhante ao anterior, em que a única diferença é não apresentar as superfícies de pressão tratadas, entenda-se por endurecidas, sendo possível fixar ferramentas de 15 mm de comprimento individualmente (figuras 76 e 77).



Figura 75 - Sistema *New Standard Pro* (Wila 3)

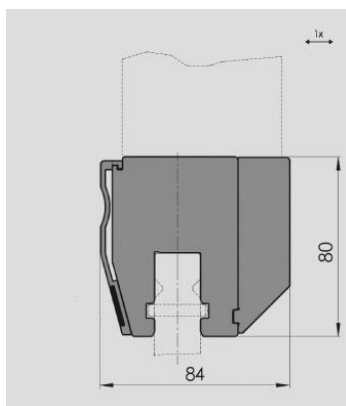


Figura 76 - Vista lateral para diferentes tipos de punções do sistema *New Standard Pro* (Wila 3)

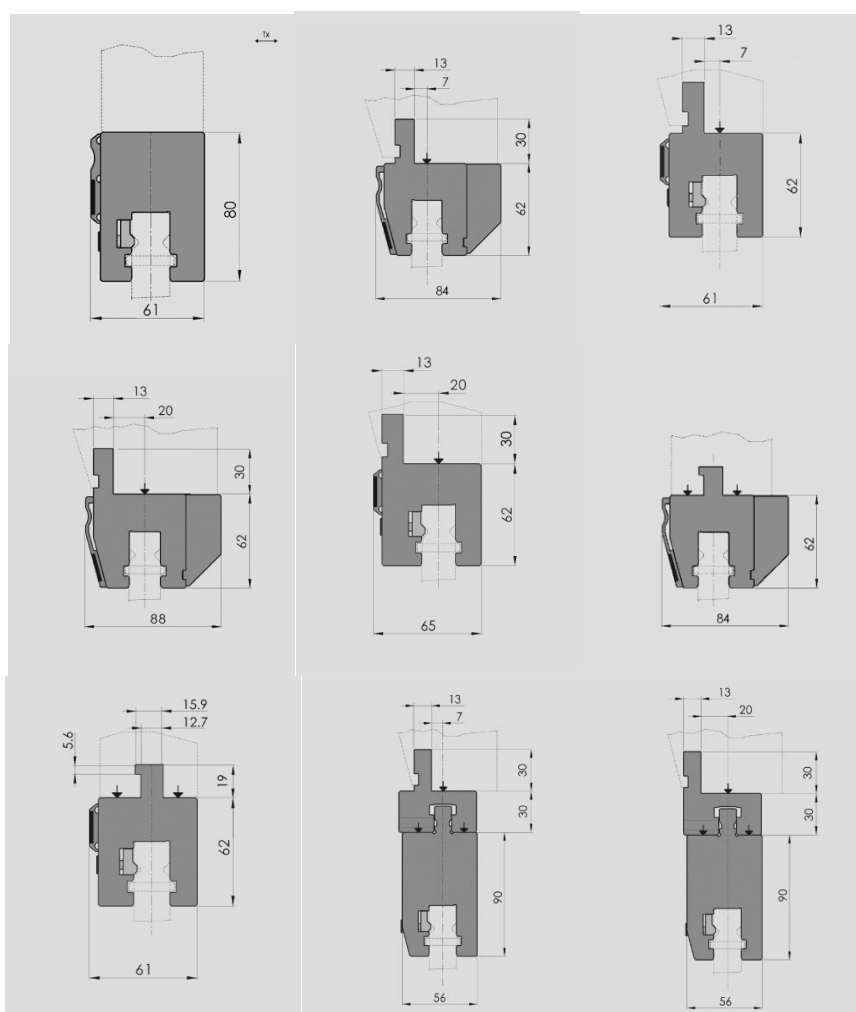


Figura 77 - Vista lateral para diferentes tipos de punções do sistema *New Standard Pro* (Wila 3)

O último sistema da *Wila*, e não menos importante, é o *American Style*, utilizado sobretudo no mercado americano, em que são utilizadas ferramentas do estilo americano. A única diferença deste sistema para os anteriores é a fêmea do *safety tang*, que é normalizada pelo estilo americano para ferramentas para quinagem.

2.7. Aços para ferramentas de quinagem e respectivos tratamentos

Para as ferramentas de quinagem são usados aços para trabalho a frio com tenacidade elevada e grande penetração de têmpera. Devido à sua composição química, estes aços possuem uma grande temperabilidade. Em virtude do elevado teor em níquel, a par do crómio e carbono, estes aços temperam até ao núcleo, pois apresentam uma pequena velocidade crítica de arrefecimento, o que permite uma têmpera no ar (Pinto Soares, 1992). Estes aços podem denominar-se como aços auto-temperantes.

Com o teor médio em carbono que estes aços apresentam, podem atingir-se durezas entre 56 a 61 HRC, uniformes em toda a secção. A esta característica, junta-se a tenacidade elevada, que permite utilizar este tipo de aços em grandes ferramentas, as quais podem ser sujeitas a grandes esforços de choque e compressão a frio. Verifica-se compressão a frio essencialmente durante a quinagem a fundo. Várias são as bibliografias e catálogos com materiais e durezas para aços ferramentas, mas todos convergem em dois tipos mais comuns, os quais apresentam melhores propriedades para serem denominados de aços ferramenta:

- 42CrMo4;
- C45E (DIN 17200).

Segundo o catálogo da ROLLERI, o material denominado 42CrMo4, com o número mundial 1.7225, tem como dureza inicial, com pré-tratamento, de 29.1 a 36.9 HRC, e, após tratado, o aço apresenta durezas entre 54 a 60 HRC. Neste mesmo catálogo, o material em cima denominado C45E, com o número mundial 1.1191, apresenta-se com uma dureza de pré-tratamento entre 12 e 15.5 HRC e após tratado, este mesmo aço apresenta uma dureza semelhante ao 42CrMo4, de 54 a 60 HRC. Já segundo o catálogo da AMADA, o aço ferramenta utilizado é o 42CrMo4, pois uma ferramenta deverá possuir durezas na ordem dos 45 a 50 HRC e, após endurecimento, passar a ter durezas na ordem dos 52 a 56 HRC. Segundo o catálogo da F.RAMADA, os aços referidos anteriormente podem ser tratados através de recozimento, redução de tensões, têmpera e revenido, podendo ainda ser escolhidos os meios de arrefecimento na têmpera, tais como: sobrepressão (vácuo), martêmpera, ar ou óleo. O seu fornecimento para o cliente pode ser efectuado no estado de tratado ou normalizado, ficando a escolha ao critério do cliente, em função da aplicação.

O material 42CrMo4 pode ser recozido entre 680 - 720°C e 840 - 880°C ou então normalizado. Para redução de tensões o tratamento poderá atingir temperaturas entre 550 - 600°C. A temperatura de têmpera será entre 830 - 860°C e a de revenido de 200 - 680°C. Os meios em que se pode realizar o arrefecimento na têmpera são, como já referidos anteriormente, sobrepressão (vácuo), martêmpera, ar e óleo.

Já para o material C45E, as temperaturas e meios de arrefecimento diferentes, como se pode verificar na tabela seguinte.

Tabela 3 - Tratamentos, temperaturas e meios de arrefecimento para o material C45E

Recozimento [°C]	Têmpera [°C]	Meio de Arrefecimento	Revenido [°C]
650 - 700	800 - 860	Óleo	180 - 300
840 - 870		Água	
Normalização			

Voltando à escolha do material para ferramentas de quinagem, e com recurso à bibliografia de Heinz Tschaetsch, 2006, poderá verificar-se na seguinte tabela, os materiais mais aconselhados para ferramentas:

Tabela 4 - Materiais para ferramentas de quinagem (Heinz Tschaetsch, 2006)

Material nº	Designação	Dureza [HRC]	Punção	Matriz
1.1550	C 110 W 1	60	✓	✓
1.2056	90 Cr 3	64	✓	✓
1.2842	90 Mn V 8	62	✓	✓

Como se constata, os materiais são diferentes dos apresentados anteriormente, mas apresentam durezas equivalentes, o que por si só, indica que poderão ser utilizados diversos materiais, tendo sempre em contra a relação entre a dureza e a tenacidade, que são dois requisitos de grande importância na selecção de aços-ferramenta.

2.7.1. Requisitos a ter em conta nos materiais para ferramentas de quinagem

A escolha do material mais conveniente para os punções e matrizes depende do tipo de material a quinar, forma da peça e quantidade a produzir (Bessa Pacheco, 1992).

Os aços ferramenta devem resistir depois de temperados ao rompimento por excesso de carga localizada e deverão permitir rectificações, porque depois de temperados a camada dura é pouco espessa, não permitindo assim proceder-se a muitas rectificações na superfície da ferramenta após utilização em várias operações de quinagem.

Os materiais não devem deformar-se excessivamente quando sujeitos a cargas elevadas e as ferramentas devem ter elevada resiliência e tenacidade, porque são constantemente expostas a impactos, sendo capazes de absorver a energia desses mesmos impactos e não permitir a progressão fácil de fissuras.

De acordo com o manual de SSAB Tunnplat AB, 1998 são definidos os seguintes requisitos para os materiais de ferramentas de quinagem:

- Resistência superior à apresentada pelo material da peça a trabalhar;
- Espessura superior à da peça a trabalhar;
- Comprimento de quinagem;
- Baixo coeficiente de atrito;
- Custo material da ferramenta;
- Dimensão da ferramenta;
- Capacidade de não riscar facilmente;
- Vida útil desejada;
- Custo de processo de fabrico;
- Posição favorável face à concorrência.

A dureza e a espessura da peça de trabalho, tal como o raio da ferramenta, determinam a pressão de contacto de conformação. O desgaste da ferramenta é muito mais elevado quando a peça desliza contra a superfície da ferramenta sob pressão. Algumas combinações de materiais podem causar danos, tais como riscos. A lubrificação é aconselhável para excluir este tipo de danos causados durante o processo de quinagem.

2.7.2. Tratamentos térmicos dos aços para ferramentas de quinagem

Vários podem ser os tratamentos a efectuar para melhorar as propriedades mecânicas dos materiais utilizados em ferramentas. No manual SSAB Tunnplat AB, 1998 são referidos alguns dos tratamentos a serem efectuados para aços ferramenta, tais como:

- *Case Hardening* – Têmpera;
- *Flame and induction hardening* – endurecimento por chama ou indução;
- *Carbonitriding* – Carbonitruração;
- *Nitriding* – Nitruração;
- *Boronizing* – Enriquecimento superficial com boro.

A têmpera permite, tal como o nome indica, obter uma camada na superfície mais resistente ao desgaste. Sendo o teor em carbono mais elevado, a camada endurecida será também maior, aumentando assim de forma mais eficiente a resistência ao desgaste.

Existe ainda a têmpera localizada por chama, em que o endurecimento é realizado na zona da ferramenta desejada. O aquecimento é produzido por uma tocha de soldadura na zona desejada, e o arrefecimento pode ser efectuado em água ou óleo. Este processo é mais flexível porque o aquecimento é realizado no local desejado para endurecimento. O limite conseguido para a dureza neste processo é da ordem dos 400 HV (41,7 HRC).

As ferramentas podem ainda ser sujeitas a tratamentos termoquímicos, tais como a cementação, nitruração ou carbonitruração. A cementação consiste em aquecer até 900 ° - 1000 °C as ferramentas, na presença de um cimento (rico em carbono), o qual vai permitir enriquecer a superfície em carbono, aumentando a sua dureza. Quanto maior for a quantidade

de cimento usado, maior vai ser a difusão e penetração, aumentando assim a camada tratada e a longevidade da ferramenta, figura 78.

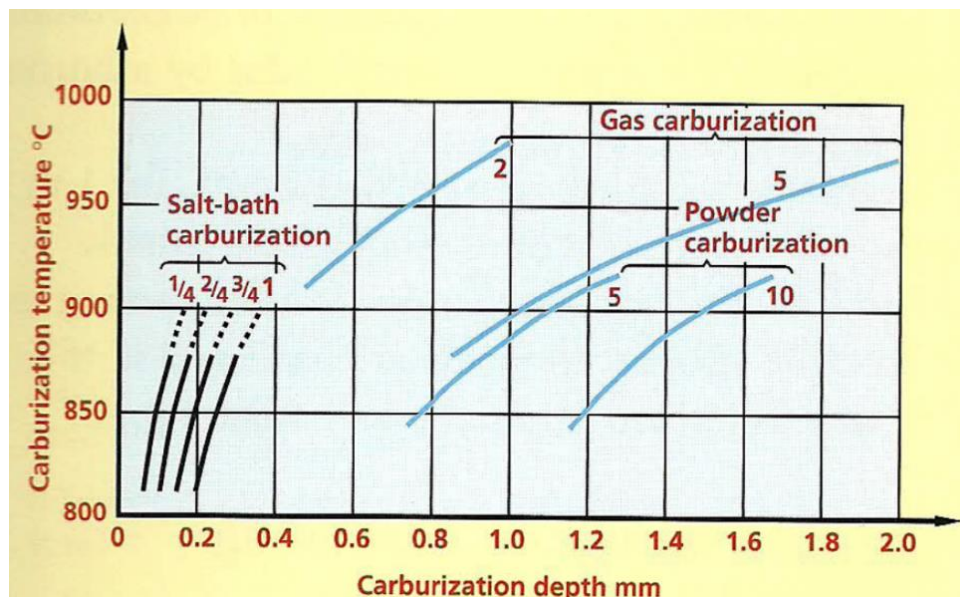


Figura 78 - Relação entre a profundidade de cementação, temperatura, e tempo (horas) para os vários métodos de cementação (SSAB, 1998)

O tratamento por carbonitruração difere do anterior, pois é aplicado azoto conjuntamente com o carbono. Após tratamento, a ferramenta apresenta durezas equivalentes à têmpera, numa camada junto à superfície.

No tratamento por nitruração é aplicado somente azoto, que se difunde por toda a superfície a temperaturas entre os 500 e 600 °C. Este processo produz as melhores durezas que podem ser obtidas por tratamento térmico-químico.

Já o tratamento por boretação é bastante complicado e demorado. É espalhado boro por toda a superfície da ferramenta, em que se produz uma camada bastante dura que contém boreto de ferro. Uma das grandes vantagens é que o boreto de ferro apresenta um coeficiente de expansão térmica semelhante ao do aço. Este processo pode ser aplicado por gás, líquido ou sob a forma de matéria sólida. O tratamento é realizado entre 800 a 1000 °C, e pode demorar entre 1 a 8 horas. Após arrefecimento o material apresenta durezas semelhantes à tempera, embora apenas junto à superfície.

Mas, com todos estes processos, é necessário ter em conta quais são os disponibilizados pelo fornecedor do material. No caso do F.RAMADA, os processos que podem ser executados para os materiais C45E e 42CrMo4 são os seguintes:

- Re cozido;
- Redução de tensões;
- Têmpera;
- Revenido;
- Forjamento.

Por exemplo, para o tratamento térmico de um aço-ferramenta, deve ser aplicado primeiro um recozido de distensão, de seguida uma têmpera e depois um revenido e, no final, o arrefecimento deve ser feito ao ar (Pinto Soares, 1992).

3. Desenvolvimento

3.1. Introdução ao trabalho prático desenvolvido

3.1.1. Objectivos do trabalho prático

Este trabalho assenta no desenvolvimento de um novo sistema de fixação de punções a ser implementado numa quinadora. Este trabalho surgiu porque as ferramentas e seus suportes são adquiridos no estrangeiro, devido ao facto de os sistemas comercializáveis estarem protegidos por uma patente. Em caso de fabrico destes componentes a empresa, ou o fabricante, terá de pagar pelo respectivo registo do produto. De facto, não houve até ao momento, em Portugal, desenvolvimento nesta área, permitindo a concepção e fabrico de sistemas alternativos aos já comercializados, tendo-se verificado uma certa acomodação das empresas Portuguesas para simples aquisição dos sistemas disponibilizados pelas empresas especializadas, pagando aquilo que lhe é exigido pelos sistemas. Sendo assim, foi proposto estudar e projectar um novo sistema de fixação que tenha uma solução construtiva que lhe permita uma diferenciação dos já existentes, e assim evitar os inconvenientes referidos.

Sendo assim, iniciou-se o estudo dos vários sistemas já patenteados e a selecção daqueles que melhores resultados apresentavam em termos de facilidade de uso e precisão, como ponto de partida e análise para a elaboração de um novo projecto. Posteriormente será realizado um anteprojecto de possíveis soluções que depois serão apresentadas à empresa interessada no sistema, e de onde será seleccionada uma para projecto final. Neste âmbito serão elaborados os desenhos 2D, para fabrico dos componentes, e 3D, para a devida montagem do sistema.

3.1.2. Caracterização da empresa

A empresa RICO, fundada por Tomás Castro Silva, em 1969, iniciou a sua actividade pela produção de calandras e engenos de furar. No ano de 1975 expandiu o seu mercado de actuação para o fabrico das primeiras quinadoras e guilhotinas. Já nos finais da década de 80, iniciou a sua actividade exportadora, atingindo à data de hoje os 5 continentes, em que 75.74 % da produção é para o mercado internacional e importando 37.86 %, correspondendo a matérias-primas e componentes utilizados no fabrico das máquinas (Dados de 2012). A empresa emprega 45 trabalhadores, desde operários até ao departamento técnico.

Quanto à sua estrutura organizativa, a RICO consiste numa sociedade por quotas.

O trabalho foi realizado ao abrigo de um protocolo existente, o qual foi unilateralmente quebrado pela empresa, o que impediu uma progressão mais rápida e agilização do fabrico do protótipo.

3.2. Situação inicial

Na primeira fase do trabalho, partindo de uma folha em branco, sem poder otimizar/melhorar ou mesmo modificar algo já existente no mercado, foi estabelecido o objectivo de criar um novo sistema de fixação de punções, em que este fosse uma nova solução e uma mais-valia na área das quinadoras para conformação de chapas planas. Sendo assim, delineou-se um conjunto de requisitos para a concepção e criação de um possível protótipo, tais como:

- Soluções já existentes no mercado;
- Parâmetros em que assentam;
- Requisitos necessários para a criação de um novo sistema de fixação.

Após estes parâmetros devidamente analisados, foram estipulados os seguintes pontos-chave para a elaboração de um novo sistema de fixação:

- Distribuição uniforme da força ao longo de todo o comprimento do suporte, neste caso 150 mm;
- Seguir o modelo de encaixe do punção, *PROMECAM*, ou modelo europeu;
- Punção não deverá entrar pelas extremidades do suporte, deverá seguir os conceitos da *TEDA* e *ROLLERI ROL 100*;
- Sistema fixo por três pontos em operação de quinagem;
- Sistema manual, ou seja, o operador terá de apertar e desapertar sempre que necessário o suporte;
- Os materiais devem ter elevada dureza;

- O punção, após encaixe no intermediário e após desaperto do suporte, não deverá cair, o que poderia levar a acidentes com algum dos operadores;
- Deverá ser leve e funcional, de preferência com custos de produção e de venda reduzidos.

Após definidos todos os pontos indispensáveis à realização de um novo sistema de fixação, foi necessário analisar a transmissão da força do avental superior para o punção. Começou-se por analisar a estrutura do avental superior e como estava ligado o suporte ao intermediário, punção, e o intermediário ao avental.

Como já tinha sido analisado, o suporte encontra-se fixo durante a operação de quinagem por 3 pontos de fixação. O intermediário encontra-se fixo ao avental superior através de um suporte de fixação de ferramentas, por dois parafusos M10, como se pode ver na figura 80. Esta fixação impede o movimento do intermediário no eixo ZZ', permitindo assim o ajuste do intermediário através da cunha após o aparecimento de deformações nos aventais, superior e inferior. Todos os parafusos utilizados na ligação ao intermediário são de tamanho M10, excepto o parafuso que une o calço do intermediário, para correção de deformações do intermediário que é M8.

Na figura 79 verifica-se que a interface intermediário - avental superior é realizada através de um suporte de fixação de ferramentas idêntico ao que irá ser usado para fixar os punções ao intermediário. Estes suportes são as ferramentas mais simples e económicas existentes no mercado, em que o punção entra lateralmente, tornando a operação de troca de ferramentas muito mais demorada, pois sempre que se faz esta troca os parafusos 1 e 2, figura 80, do tipo M10, terão de ser apertados e desapertados. É ainda necessário ter o máximo de cuidado para a folga dada não permitir que o punção caia, danificando a ferramenta e causando acidentes de trabalho.

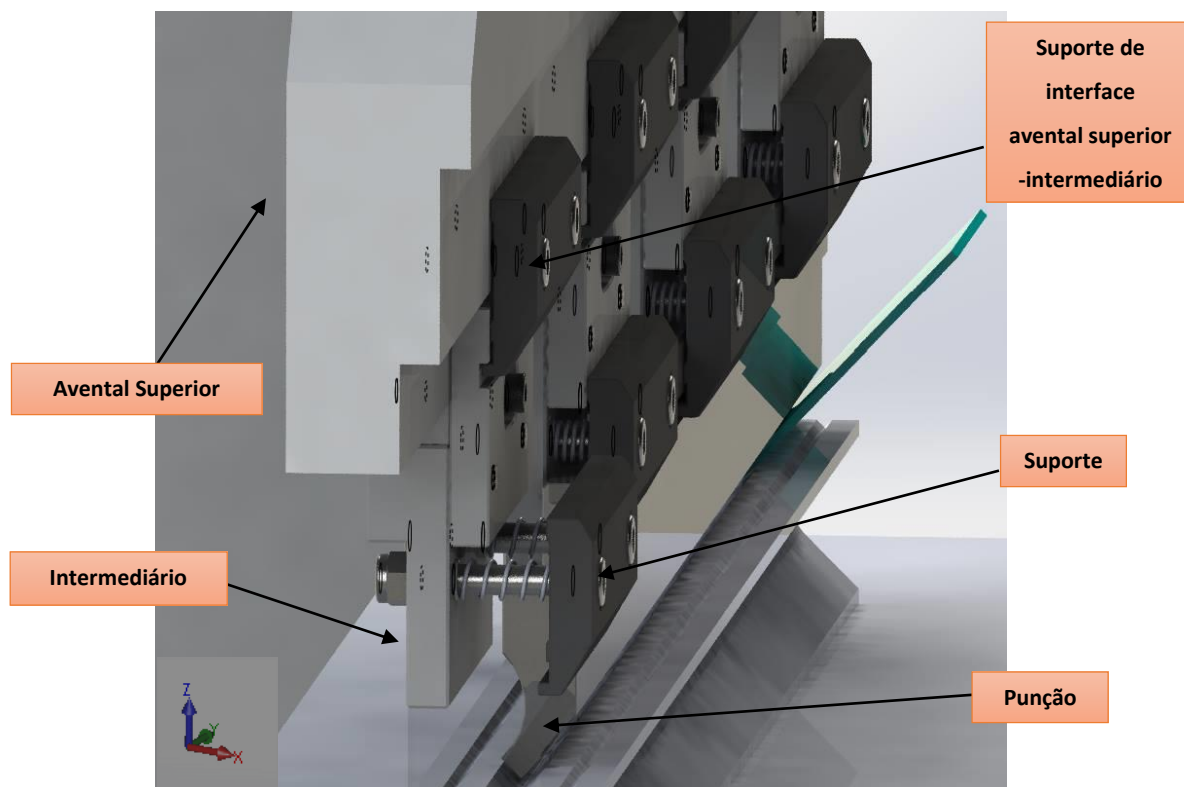


Figura 79 - Elementos que compõem a interface avental – punção (Grabcad)

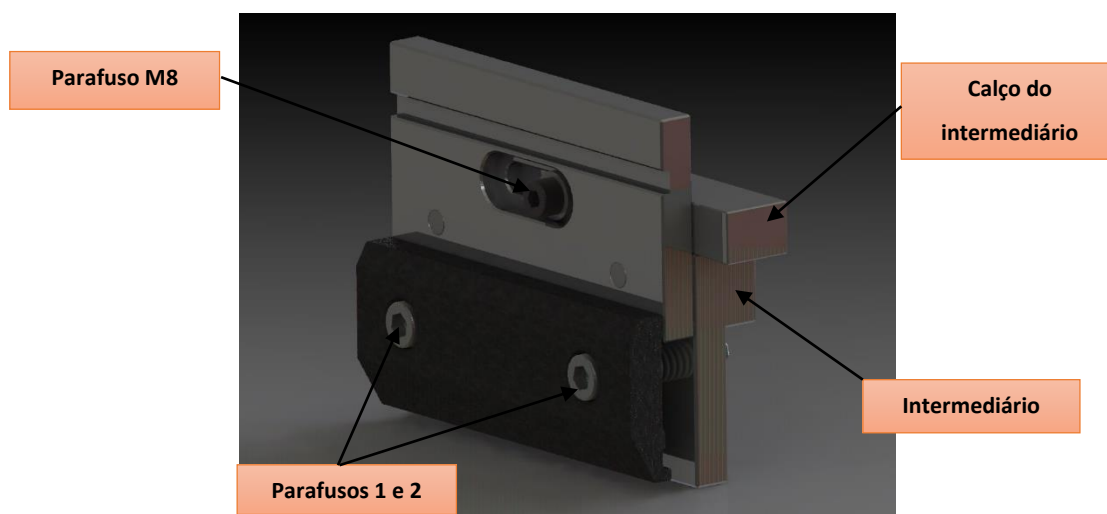


Figura 80 - Sistema de fixação *standard* (Grabcad)

Na figura 79 verifica-se ainda que entre o intermediário e o suporte existem 2 molas. Estas molas funcionam à tração, ou seja, assim que são desapertados os parafusos 1 e 2, o suporte dará a folga necessária ao punção para este poder ser retirado ou trocado. Nos suportes da gama mais alta, em que estes parafusos só são apertados na montagem do suporte na quinadora, eles permitem a inclinação do suporte, facilitando assim a retirada do punção na vertical, pelo que deixa de ser necessária a troca na horizontal.

A figura 81 mostra este processo de forma ampliada, para uma melhor percepção, referindo-se ao caso do suporte mais simples.

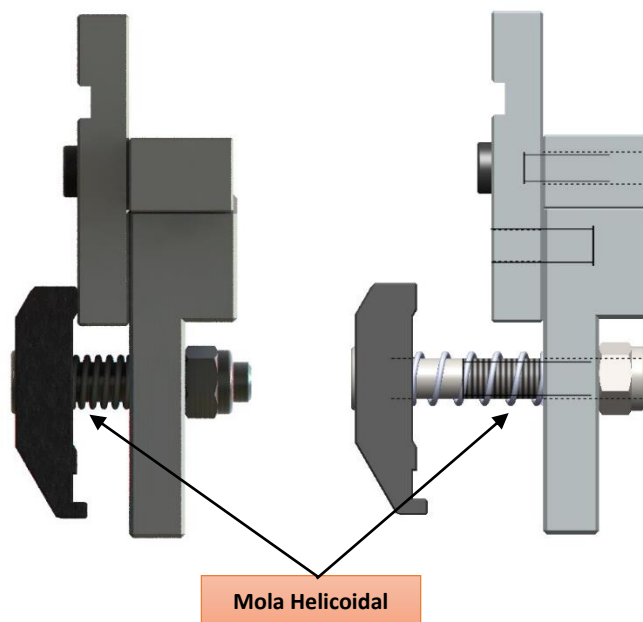
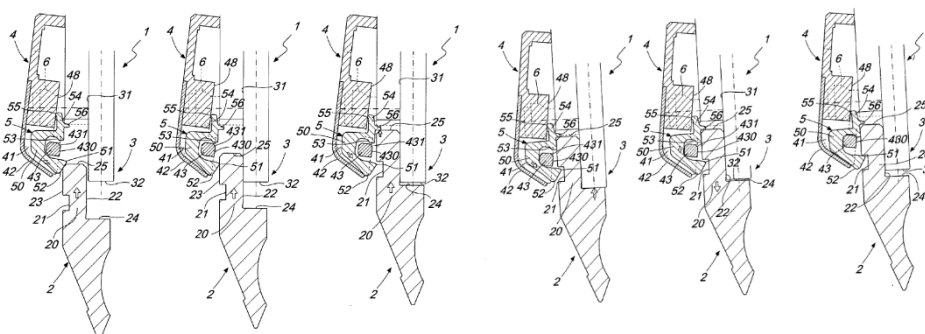


Figura 81 - Vista lateral do sistema *standard* e movimento do suporte (Grabcad)

Um dos suportes que melhor se comporta e que melhor está estruturado é o *Speed Grip Manual* da *TEDA*, tendo sido este suporte utilizado para a análise do sistema de fixação. Neste suporte, o punção entra na vertical, ficando apoiado nos dentes de encaixe no *Safety Tang* do punção. De seguida, o operador coloca a alavanca na posição de fecho e o punção ajusta-se, ficando fixo ao intermediário. Após a operação de quinagem e sendo necessária a troca ou remoção da ferramenta, o operador liberta a alavanca, onde as molas actuam e irão inclinar o suporte, ficando o punção apoiado nos dentes de encaixe pelo *Safety Tang* até o operador realizar o movimento de rotação e de deslocação vertical do punção para o retirar. Estas operações poderão ser vistas na figura 82, disponibilizada pelo fabricante na patente EP1884298A1.



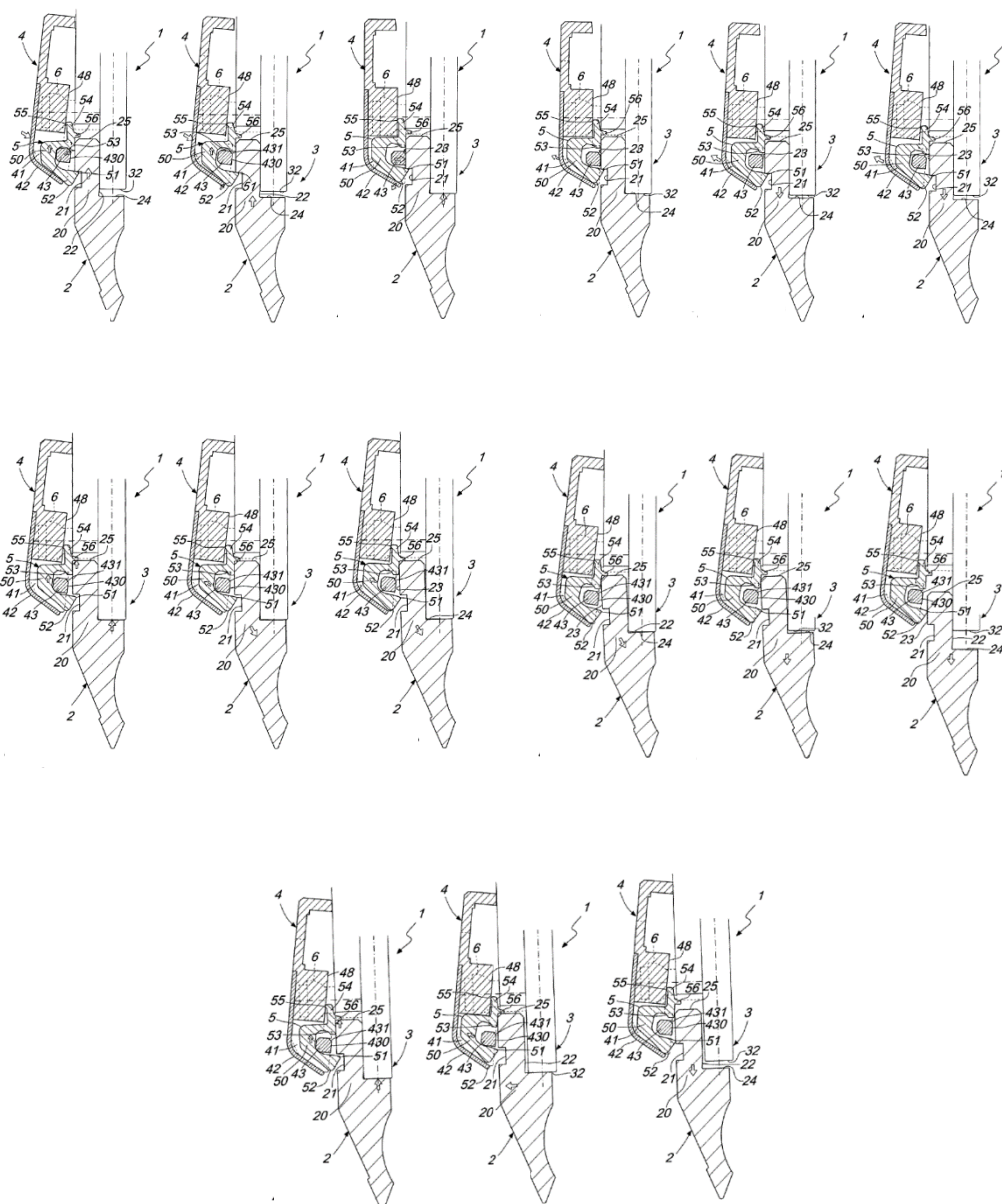


Figura 82 - Esquema de funcionamento sistema de fixação manual da TEDA (Giavelli, 2008)

Este sistema de fixação de suportes para punções, do fabricante TEDA, serviu de modelo para perceber como funciona o sistema e elementos necessários que o compõem, servindo assim também como inspiração inicial ao desenvolvimento do anteprojecto com uma nova solução para os sistemas de fixação.

Nas figuras 83 e 84 poderá ver-se um exemplo de um operador a inserir e apertar o punção na quinadora, bem como a desmontagem dos suportes e retirada do punção.

- Na figura 83 a), as alavancas devem estar abertas frontalmente, e só aí deve ser inserido o punção.

- Na figura 83 b), deverá ser inserida a ferramenta por baixo das unidades de fixação e, estando no lugar, o operador poderá largar a ferramenta porque esta já não corre o risco de cair, pois está fixa pelo *Safety Tang*.
- Na figura 83 c), ocorre o fecho das alavancas, no qual o punção é automaticamente levantado e alojado;
- Na figura 83 d) a quinadora está pronta a trabalhar, realizando o seu trabalho de conformação.

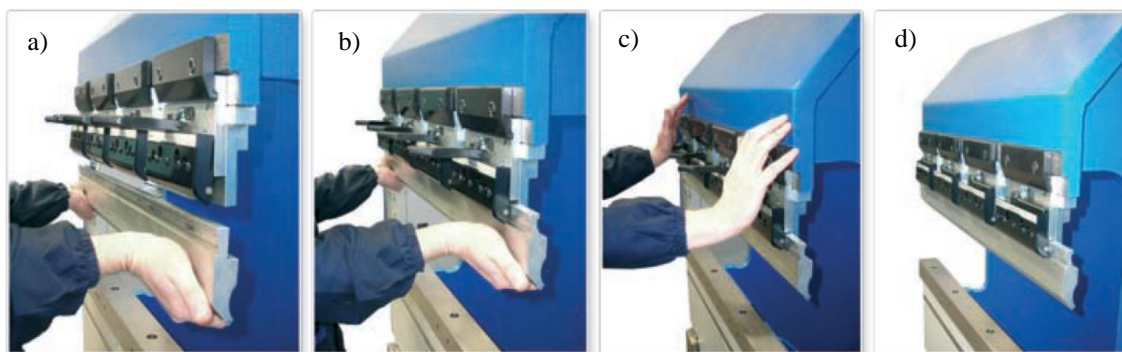


Figura 83 - Sequência de entrada e aperto do punção (Teda)

A sequência de desaperto e saída da ferramenta é da seguinte forma:

- Na figura 84 a), após quinagem, devem ser abertas todas as alavancas;
- Na figura 84 b), após todas as alavancas abertas, o punção fica suportado pelo dente de fixação, pelo que o risco de queda do punção é muito reduzido ou nulo;
- Na figura 84 c), a ferramenta deverá ser solta com um movimento específico, para cima e para trás, devido à geometria utilizada no sistema de fixação da ferramenta. Este movimento ocorre sem esforço.
- Por fim, na figura 84 d), o operador deverá remover as ferramentas com as duas mãos, com pouco esforço e de uma forma ergonómica e, mais importante que isso, perfeitamente segura.

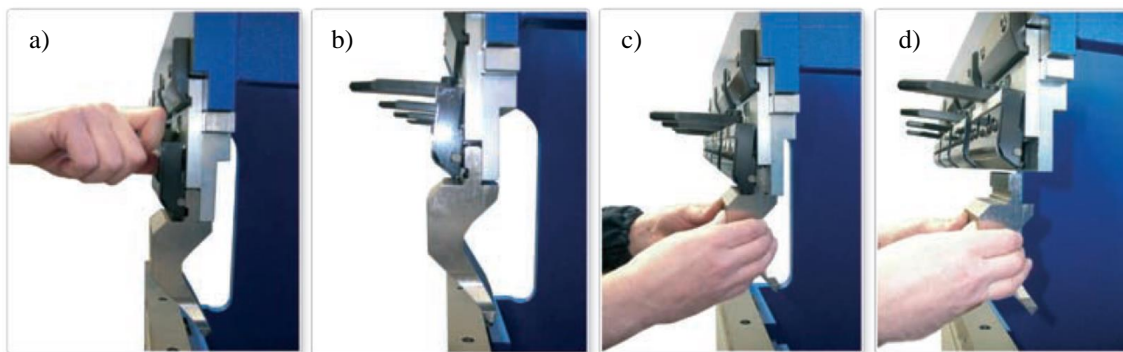


Figura 84 - Sequência de desaperto e saída do punção (Teda)

Na figura 85, o elemento 6 (casquilho esférico) serve para o suporte poder inclinar-se, permitindo assim o seu aperto através da alavanca, dando a folga necessária para a retirada da ferramenta, o punção. Ainda na mesma figura, o elemento 43, ajustado pelo parafuso 46, garante o aperto uniforme do punção ao longo dos 150 mm de comprimento do suporte.

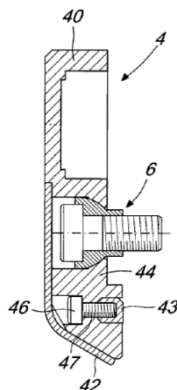


Figura 85 - Vista em corte do sistema de aperto no intermediário e respectivos elementos que permitem a rotação do suporte (Giavelli, 2008)

No *website* do fabricante deste suporte, é apresentada uma comparação entre o suporte mostrado anteriormente na figura 80, mais simples e económico, com este, em que é comparado o tempo de trabalho numa quinadora de 3 m de comprimento, e onde são utilizados 15 suportes para fixação dos punções. Caso seja necessário utilizar os 15 suportes ao mesmo tempo, o tempo de preparação num suporte simples e económico como o da figura 49, é de 9 min e 30 s, enquanto com o modelo *SPEED GRIP MANUAL* da *TEDA*, é necessário apenas 1 min e 56 s. Comparando estes tempos de operação, verifica-se que o modelo da *TEDA*, apresenta grande vantagem sobre o modelo convencional. É também um sistema simples e económico, como tal, para a idealização de um novo sistema de fixação de ferramentas, terão de ser seguidas algumas soluções construtivas deste modelo.

3.3. “Tempestade de ideias” sobre possíveis soluções

Após tudo analisado e com um adequado conhecimento das soluções existentes no mercado, iniciou-se o desenvolvimento do novo projecto, começando por fugir à tecnologia já existente, que utiliza molas helicoidais, optando pela utilização das molas de lâmina, sendo este o factor primordial de inovação para o sistema de fixação para punções.

Na primeira fase do projecto, também se iniciou o desenvolvimento de como se iria garantir a fixação constante ao longo de todo o comprimento do suporte, através do sistema de alavanca. Uma das ideias iniciais seria utilizar quatro pontos de fixação, dois parafusos M10 e duas barras de aperto no intermediário, na parte de trás, como se pode ver na figura 86 através de um esboço realizado.

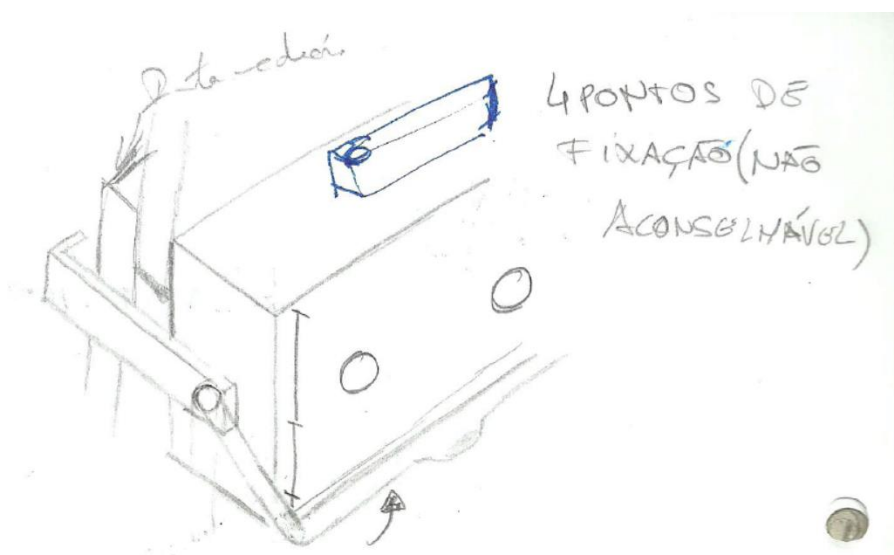


Figura 86 - Esboço de um possível sistema de fixação

Uma outra solução seria a utilização de dois parafusos, em que um deles seria um parafuso sem fim que iria ser o parafuso de apoio no intermediário permitindo fixar completamente o suporte, numa fixação por três pontos. No entanto, esta solução não ia de encontro ao desejável. Sendo assim, deixou-se o problema do aperto final do suporte ao intermediário para o fim, e começou-se a trabalhar no engate e desengate rápido e posição de espera do punção apoiado nos dentes do suporte através da utilização de uma mola de lâmina.

Numa das ideias para a utilização da mola de lâmina, equacionou-se a utilização de uma mola semelhante à da figura 87, com um comprimento total de 150 mm. Com esta, seria garantido o

movimento dos dentes de apoio todos, mas caso existissem dois punções no mesmo suporte, ao retirar um deles, o outro também iria cair, pois eles iriam estar suportados pela mesma mola, mas em dentes diferentes, ou seja, ao retirar um punção o outro fixo em dentes de apoio diferentes iria cair, pois a mola iria realizar o mesmo movimento em todos os dentes de apoio. Sendo assim, serão necessárias tantas molas como o número de dentes de apoio, para garantir que a força actua em diferentes punções.

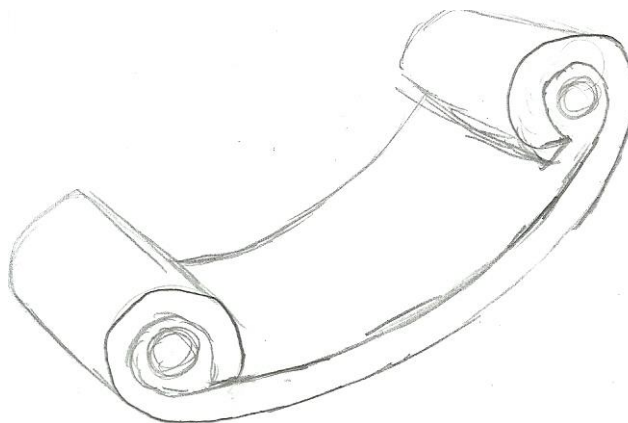


Figura 87 - Mola de lâmina convencional das suspensões dos automóveis

Numa outra solução, equacionou-se a utilização de molas de lâmina em caracol, o que se verificou ser muito complexo, como se poderá ver na figura 88. Como a mola ficaria alojada no suporte e se fixaria ao dente de engate no punção, dificultaria o trabalho de maquinagem e por sua vez tornaria-se dispendioso o fabrico de todos os elementos, devido à sua complexidade.

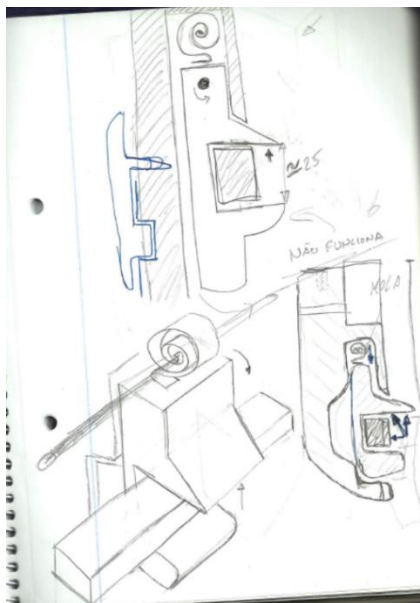


Figura 88 - Esboço do sistema de mola de lâmina e do suporte

Após algumas tentativas, inciou-se o desenvolvimento do projecto através da utilização de um *software* computacional de desenho 3D, denominado *Solidworks*[®], conseguindo-se obter durante o desenvolvimento das várias soluções uma melhor percepção de todos os pontos importantes na definição da nova solução.

Sendo assim, nas figuras seguintes mostra-se a solução com mola de lâmina, denominada de Suporte_1. Nesta solução verifica-se que o veio onde iria rodar a mola, apresenta no suporte alguma complexidade de maquinagem, como se pode verificar na figura 89, onde iria ficar alojada a mola e onde iria levar um veio para garantir que esta iria ficar sempre alojada na mesma posição. Isto traria grandes dificuldades de maquinagem e custos elevados, pois teria de ser utilizada maquinagem por electro-erosão ou corte laser (figura 90).

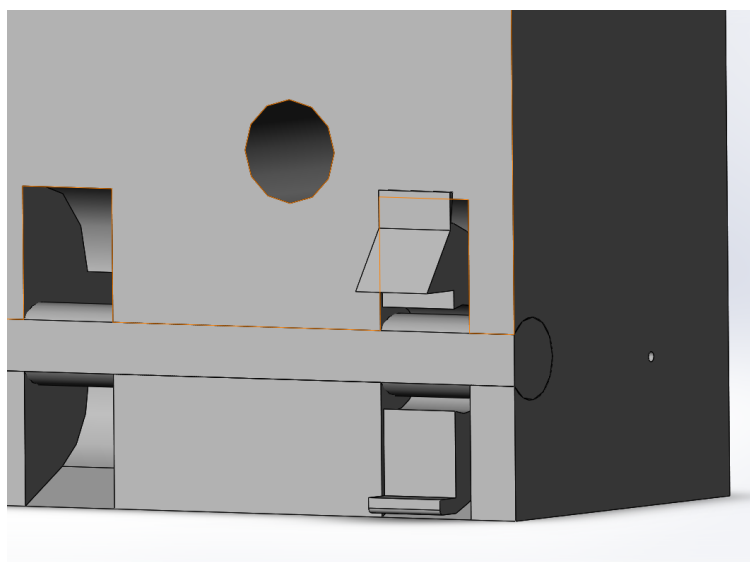


Figura 89 - Suporte_1

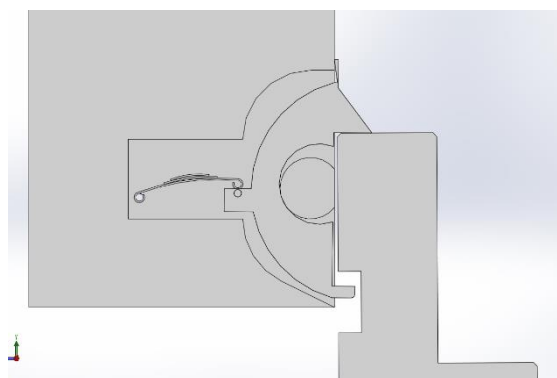


Figura 90 - Suporte_1 punção apoiado no dente

Nas figuras seguintes, verifica-se que a mola de lâmina seria algo complexa de se realizar, pois não é usual serem fabricadas molas de dimensões tão reduzidas (figura 91).

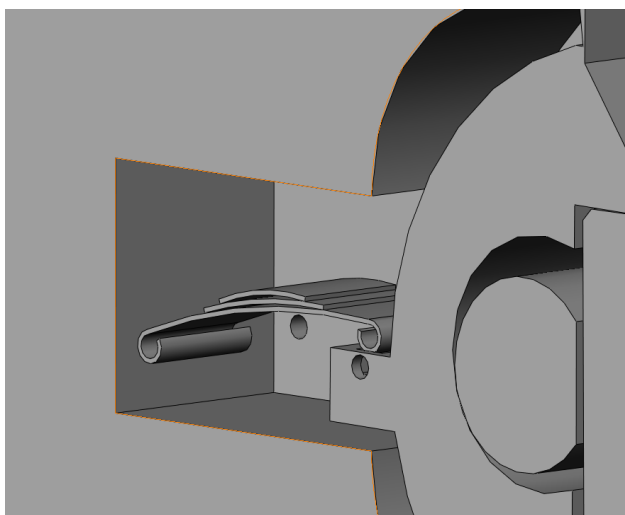


Figura 91 - Suporte_1: localização da mola de lâminas

Na figura 92 constata-se que, para além de maquinagem com elevados custos e dificuldade, encontram-se alguns pontos que iriam ceder muito rapidamente na utilização do suporte, não garantindo assim a fiabilidade necessária ao sistema de fixação.

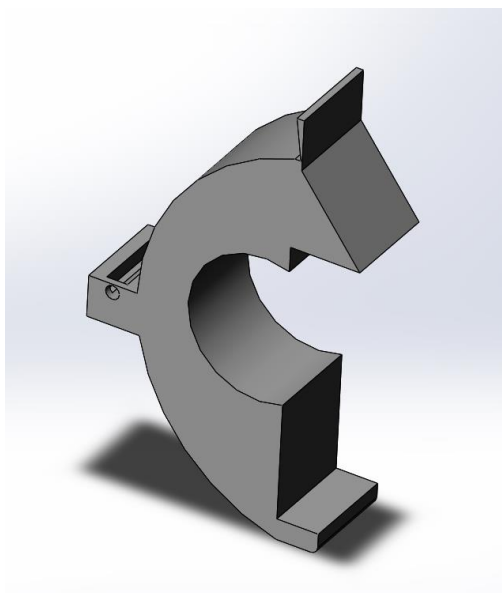


Figura 92 - Dente de engate no punção do Suporte_1

Após exclusão desta solução, seguiu-se para uma solução denominada de Suporte_2, onde foi desenvolvido um novo sistema de mola e de movimento para os dentes, e adicionada uma possível solução para a alavanca, como se poderá ver na figura 93.

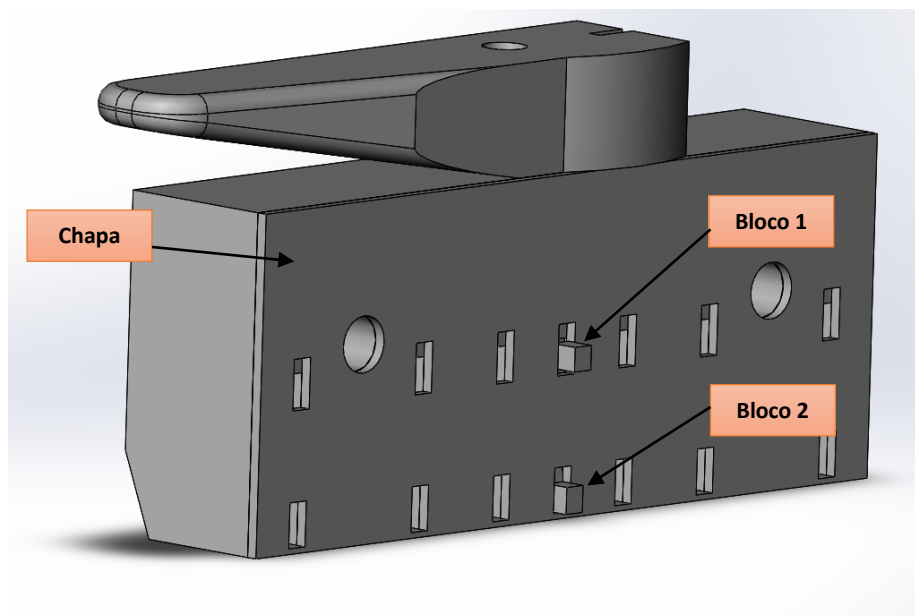


Figura 93 - Suporte _2

Na figura 93, verifica-se que nesta solução já se encontra mais próxima da solução mostrada pelo sistema da TEDA. No movimento de retirada do punção, ao empurrar o bloco 1 este irá fazer a mola comprimir e libertar o bloco 2, permitindo retirar o punção em segurança, como é desejado.

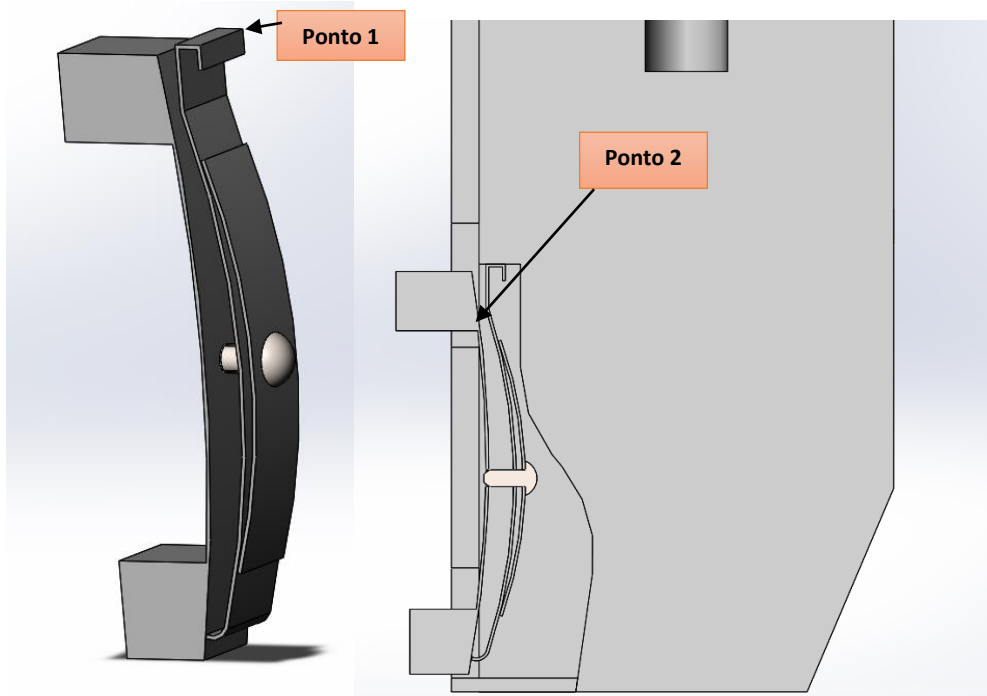


Figura 94 - Suporte_2: dente de engate no punção e respectiva mola de lâmina

No entanto, a mola não vai de encontro à facilidade de fabrico desejada, pois apresenta alguns pormenores difíceis de serem realizados tais como os pontos 1 e 2 (figura 94). No ponto 1, é de difícil execução numa peça de tamanho tão reduzido e, no ponto 2, o dente torna-se bastante frágil, originando possíveis roturas durante o fabrico do mesmo e vida útil em serviço. Ainda seria colocada uma chapa, como se poderá ver na figura 93, para garantir que a mola de lâmina iria ficar sempre com a mesma localização, deixando espaço aberto, para poder os dentes de fixação poderem suportar o punção e libertá-lo. Esta chapa traria custos elevados, pois teria de ser maquinada e não daria liberdade suficiente para se poder retirar o punção, libertando só a alavanca.

Com estes pontos em mente, deu-se início ao anteprojecto de uma nova solução denominada, de Suporte_3. Com esta solução, procedeu-se a uma tentativa de produzir uma mola mais simples que depois teria de ser furada para serem fixos os dentes, permitindo assim uma melhor fixação destes à mola e não existindo o risco de dano durante o seu fabrico, como na solução anterior (figura 95). Mas, após uma análise prévia, chegou-se à conclusão que esta solução não iria ser viável tanto do ponto de vista funcional como do ponto de vista de fabrico.

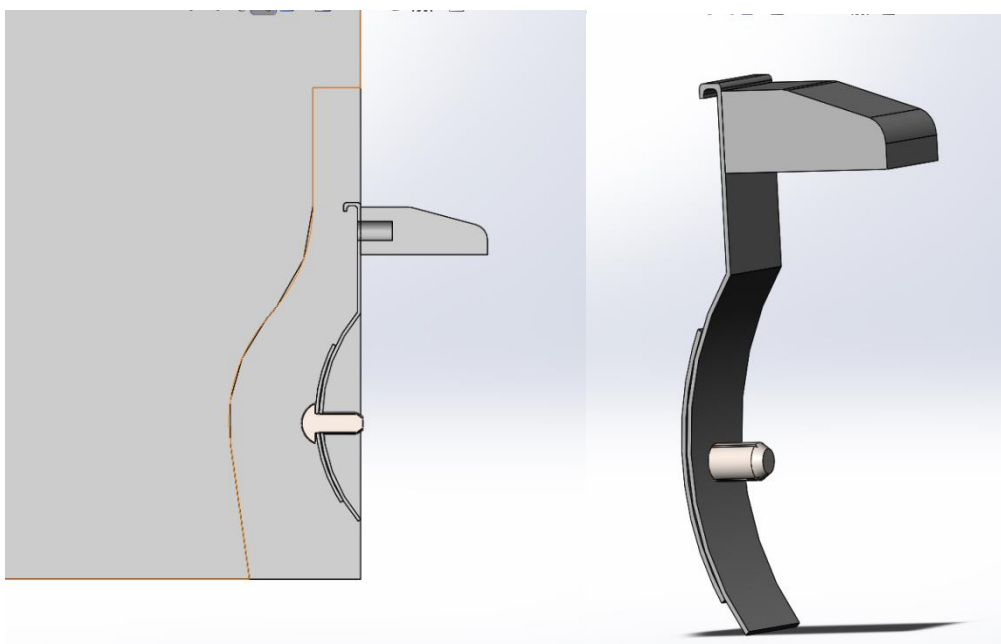


Figura 95 - Mola de lâmina do Suporte_3

Na solução denominada de Suporte_4, foi incluída uma mola de lâmina, ideal para o projecto em causa, pois esta seria conformada facilmente e o único problema seria na soldadura que, jogando com os materiais e soluções existentes para este processo, poderá ser facilmente ultrapassado. O sistema seria semelhante ao da figura 96.

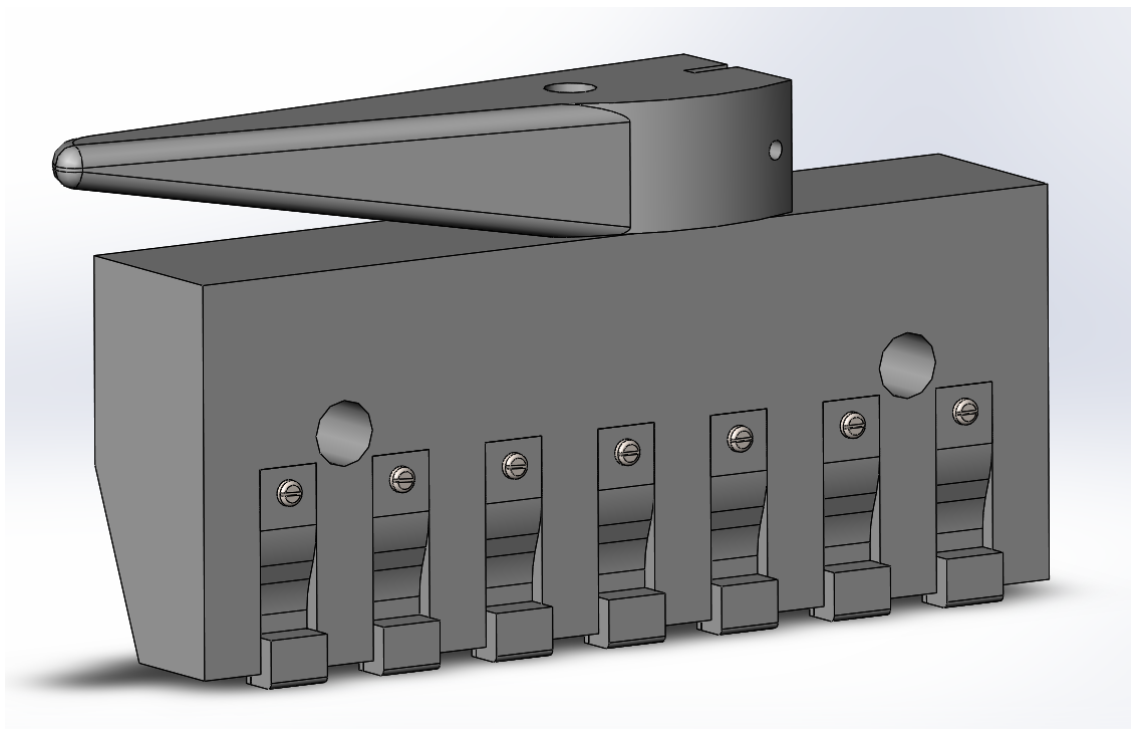


Figura 96 - Suporte_4

Pela análise da figura 97 verifica-se que alguma da área do suporte terá de ser desbastada, pois o punção não poderá entrar em contacto com a mola, permitindo o seu movimento na direção dos ponteiros do relógio, para a direita. A mola encontra-se fixa por um parafuso e por um casquilho, onde este último terá de ser alterado, garantindo assim uma melhor fixação e contacto da mola com o suporte.

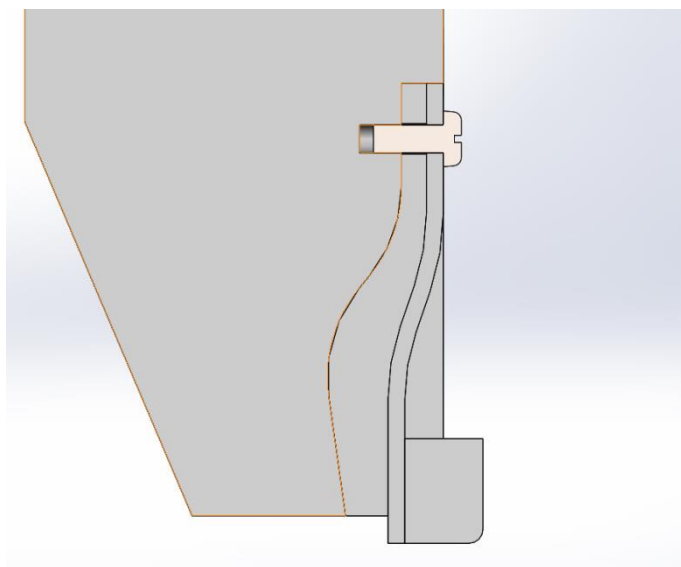


Figura 97 - Vista em corte do sistema de mola de lâmina e respectivo dente de engate no punção do Suporte_4

Na figura 98 constata-se ainda que no local 1 a mola terá de ter maior comprimento até ao parafuso, pois assim será mais fácil realizar o movimento de rotação da mola e de contacto do punção, permitindo uma maior flexibilidade de movimento na saída do punção. Também o local 2 terá de ser alterado, pois a superfície possui uma geometria complicada de ser realizada por maquinagem, ou seja, a face entre o ponto 1 e a superfície inferior terá que ser o mais lisa e rectilínea possível.

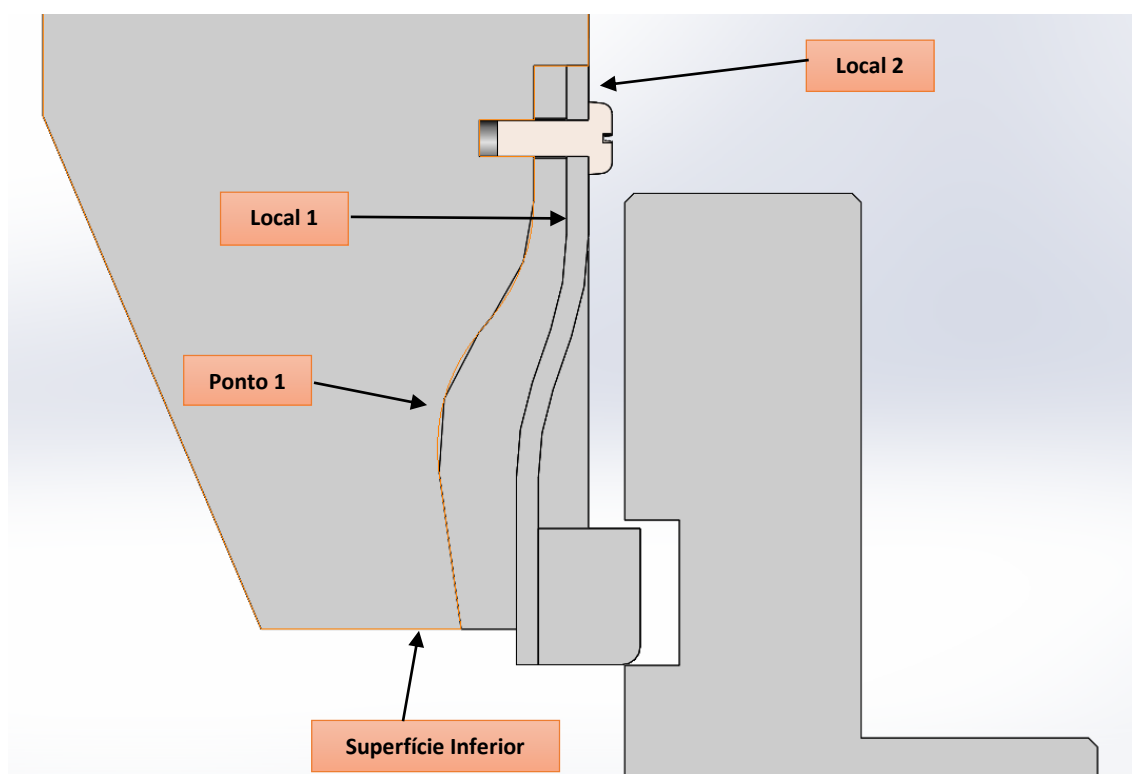


Figura 98 - Sistema de mola de lâmina do Suporte_4

Nas figuras 93 e 96, verifica-se que as dimensões da peça principal, suporte, não variam em relação às outras soluções, exceptuando a primeira, Suporte_1, em que este era mais espessa, o que iria prejudicar as operações de quinagem, pois a chapa quinada poderia colidir com o suporte. Para contornar esta limitação, foi efectuado um estudo para determinar a espessura máxima teórica que o suporte poderia ter. Sendo assim é apresentado na figura seguinte esse mesmo cálculo.

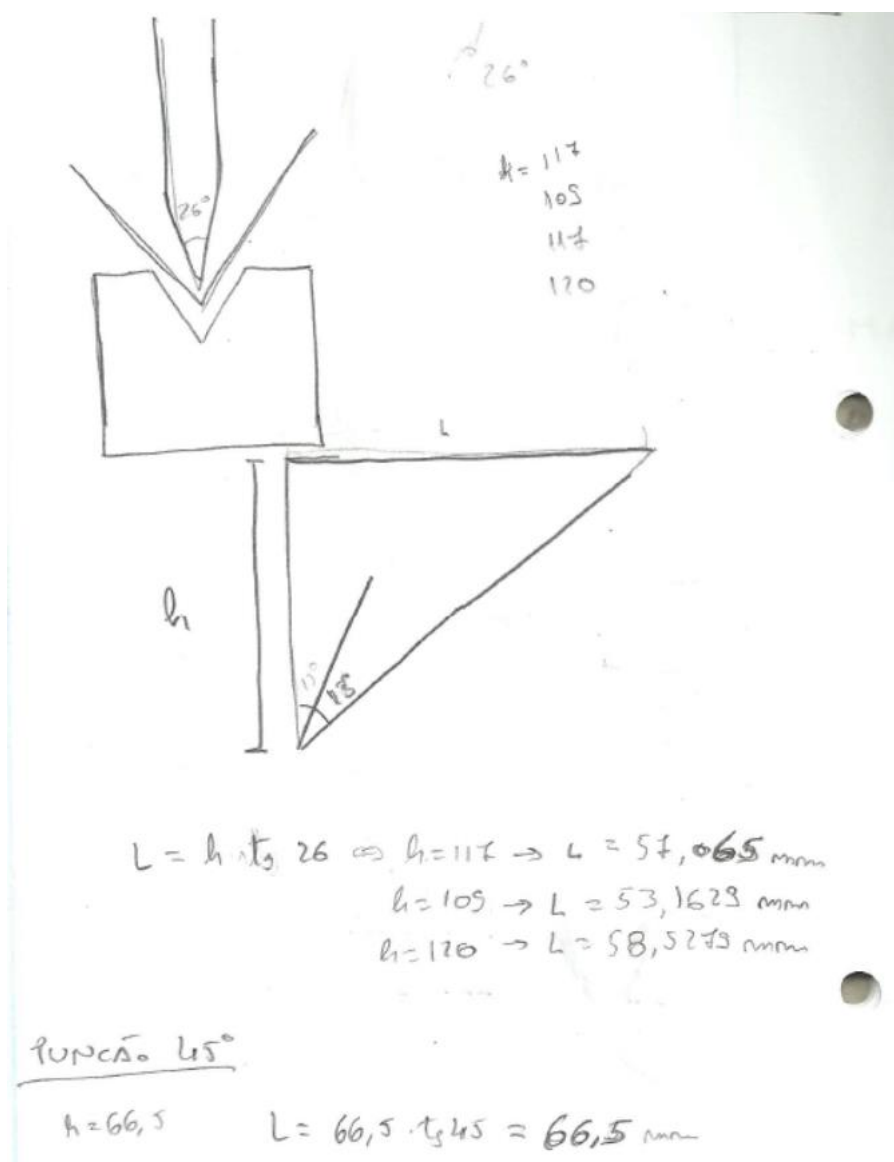


Figura 99 - Cálculo da espessura máxima para o suporte

Na expressão anterior, h corresponde às várias alturas do punção para um ângulo de 26° , segundo o catálogo da *ROLLERI*.

Com o conhecimento já adquirido sobre o que será necessário alterar, realizou-se o desenho da nova solução, denominada de Suporte_5 (figura 100). Nesta solução poderá ver-se que foram tidos em conta as limitações analisadas nas outras soluções, bem como a inclusão de alguns detalhes que irão ser mostrados e explicados à frente, nas figuras seguintes.

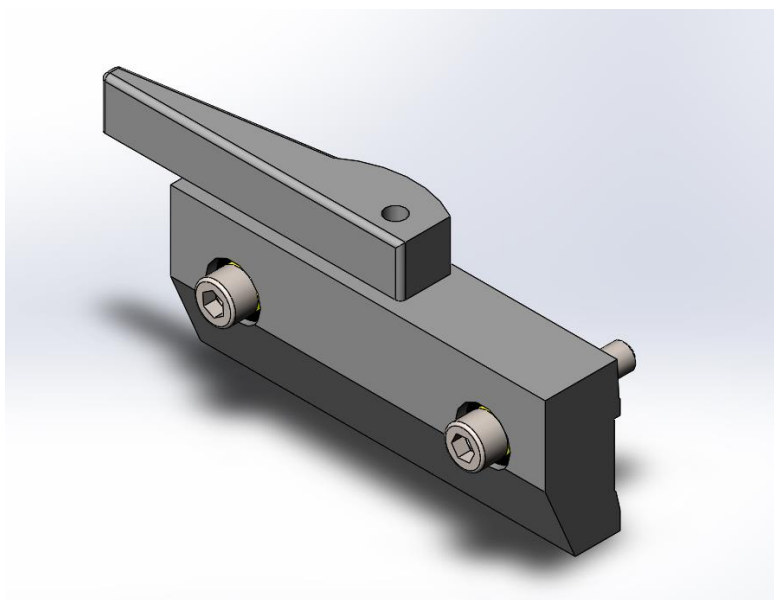


Figura 100 - Suporte_5

Na figura 101 foram incluídos rolamentos esféricos, para permitir a inclinação do suporte após este ser destravado pela sua alavanca, facilitando assim o movimento de pré-retirada e retirada do punção, tal como mostrado nas figuras 83 e 84.

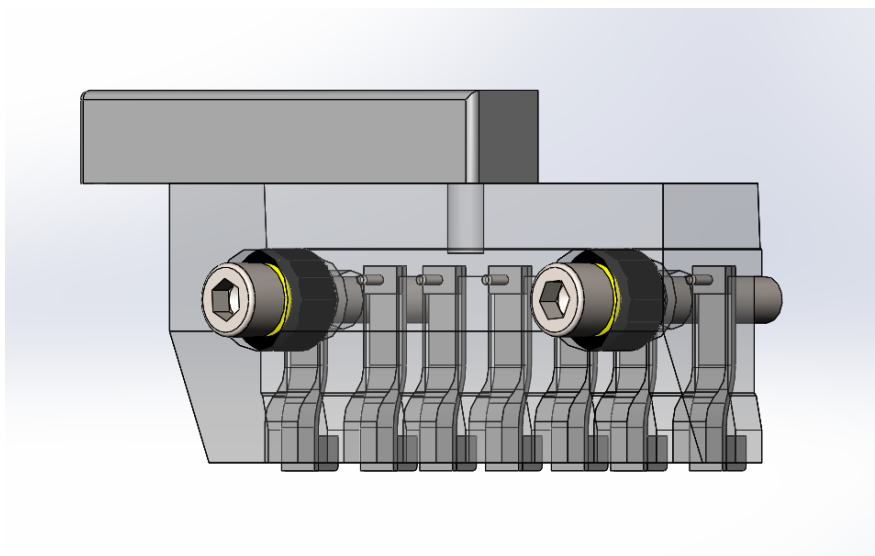


Figura 101 - Suporte_5: elementos que compõem o sistema de fixação

Na figura 102 pode-se ver uma vista em corte do rolamento esférico e respectivo alojamento no suporte, ficando o parafuso sempre na mesma posição e apertado no intermediário, movendo apenas o suporte. A inclinação assinalada como A serve para essa superfície se encostar ao intermediário, não deixando o suporte rodar para além do necessário para retirar o punção.

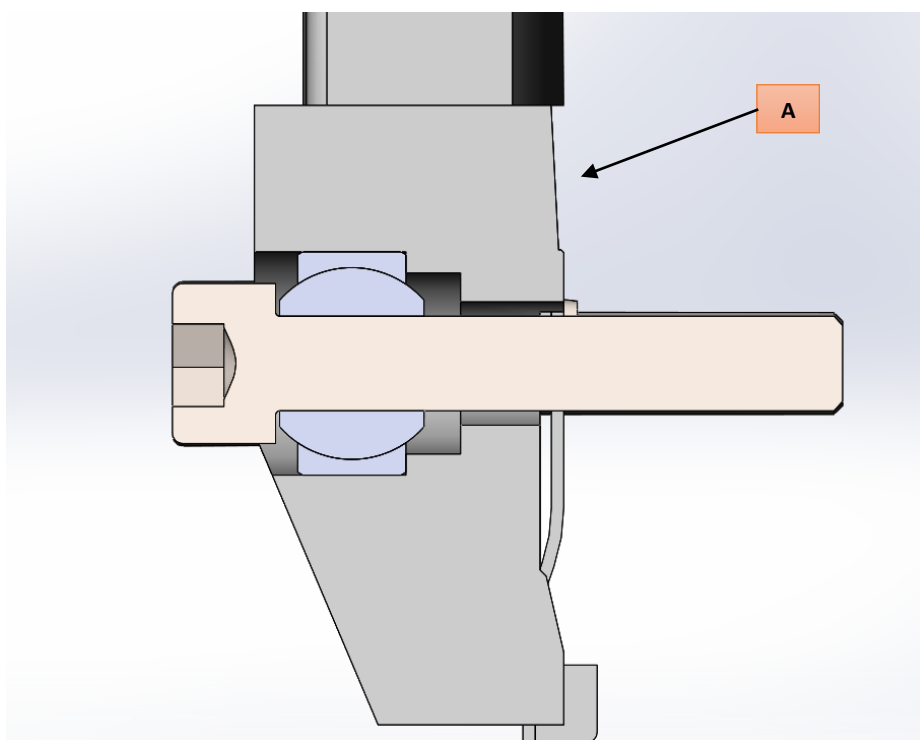


Figura 102 - Vista em corte do Suporte_5, que permite a rotação do mesmo através de casquilhos esféricos

Como analisado na solução Suporte_4, e como ponto carecendo de otimização, foi então aumentado o comprimento da mola de lâmina, figura 103, criando assim maior flexibilidade/amplitude de movimento, como já tinha sido explicado, e uma maior superfície de contacto para poder ser retirado o punção.

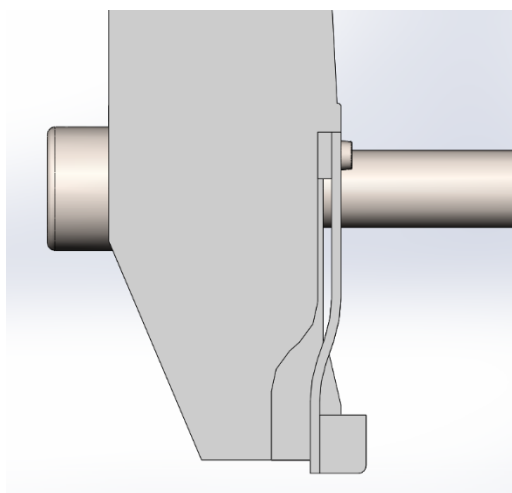


Figura 103 - Vista em corte do Suporte_5 e respectiva alteração da mola de lâmina

Na figura 104 consegue-se ter uma melhor percepção de como a mola irá actuar. Sendo assim, o punção irá entrar em contacto em A, fazendo a mola rodar em direção a B, permitindo assim o desengate do dente de apoio do *Safety Tang* do punção.

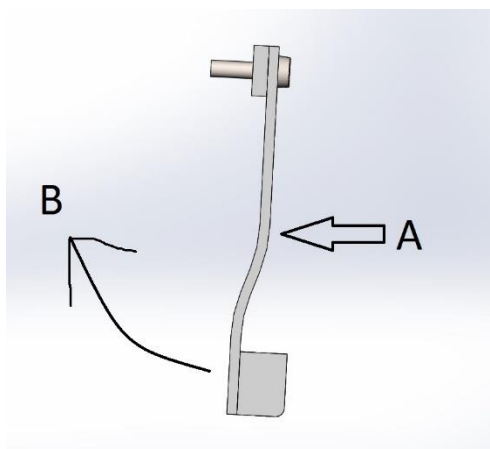


Figura 104 - Ponto de contacto do punção na mola de lâmina e respectiva direcção do movimento

Nas figuras 105 e 106 pode-se ver o punção apoiado no dente de apoio da mola de lâmina de lâmina, e a pré-retirada do punção do suporte, pelo afastamento do dente de apoio, respectivamente.

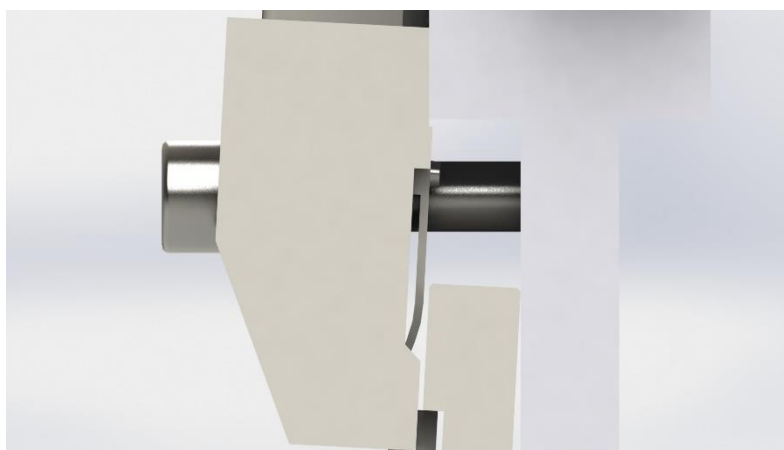


Figura 105 - Punção apoiado no dente da mola de lâmina

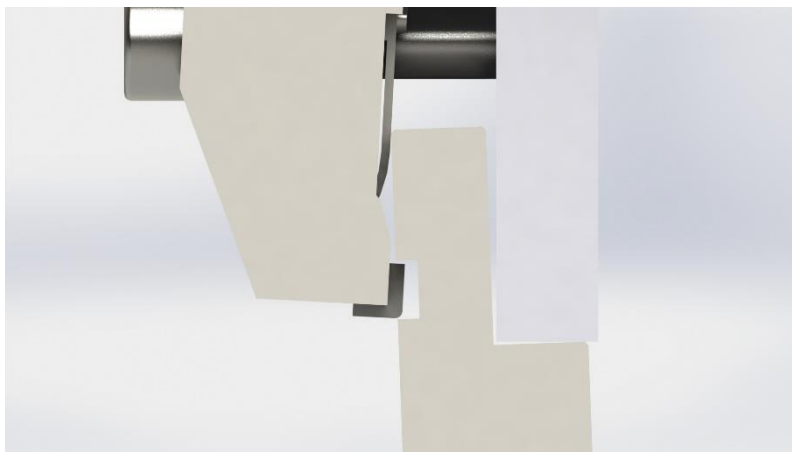


Figura 106 - Pré-retirada do punção do sistema de fixação

Após alguma análise da solução Suporte_5, foi criada uma nova versão, Suporte_5.1, em que o dente de apoio seria ligeiramente mais espesso, aumentando algumas décimas de milímetro, garantindo assim que após a alavanca ser destravada, o punção ficaria sempre apoiado no dente de apoio da mola de lâmina. É assim incrementada a segurança do operário que lidar com este sistema.

Como se pode ver na figura 107 e 108, o dente de apoio passa os limites da fronteira do punção, o que na realidade não acontece, sendo só para mostrar virtualmente o aumento da espessura do suporte.

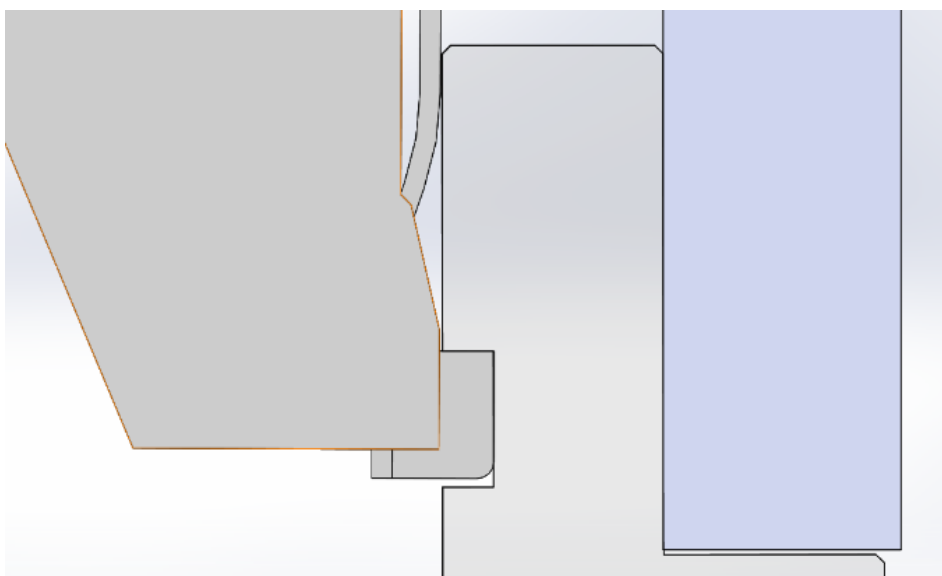


Figura 107 - Dente de apoio fixo no *Safety Tang* do punção

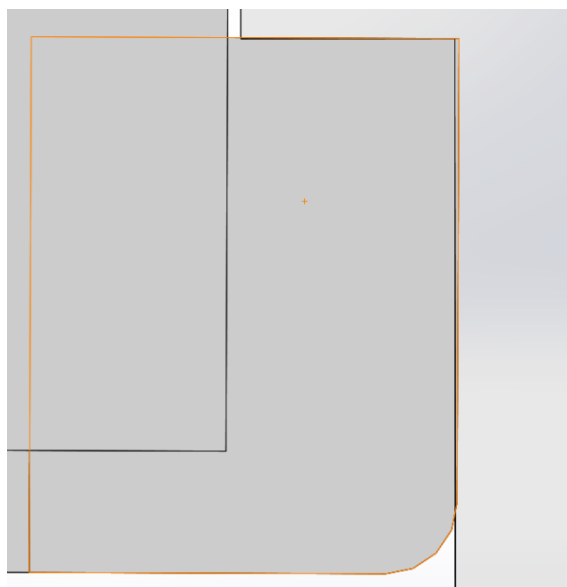


Figura 108 - Zoom do dente de apoio fixo no *Safety Tang* do punção

Com esta solução, já algo desenvolvida, foi então realizado um esboço de funcionamento do suporte, para mais tarde este ser discutido com a empresa, e para ser devidamente avaliada a sua performance em relação aos suportes já comercializados. Esse esboço é apresentado nas figuras 109, 110 e 111 e no anexo II.

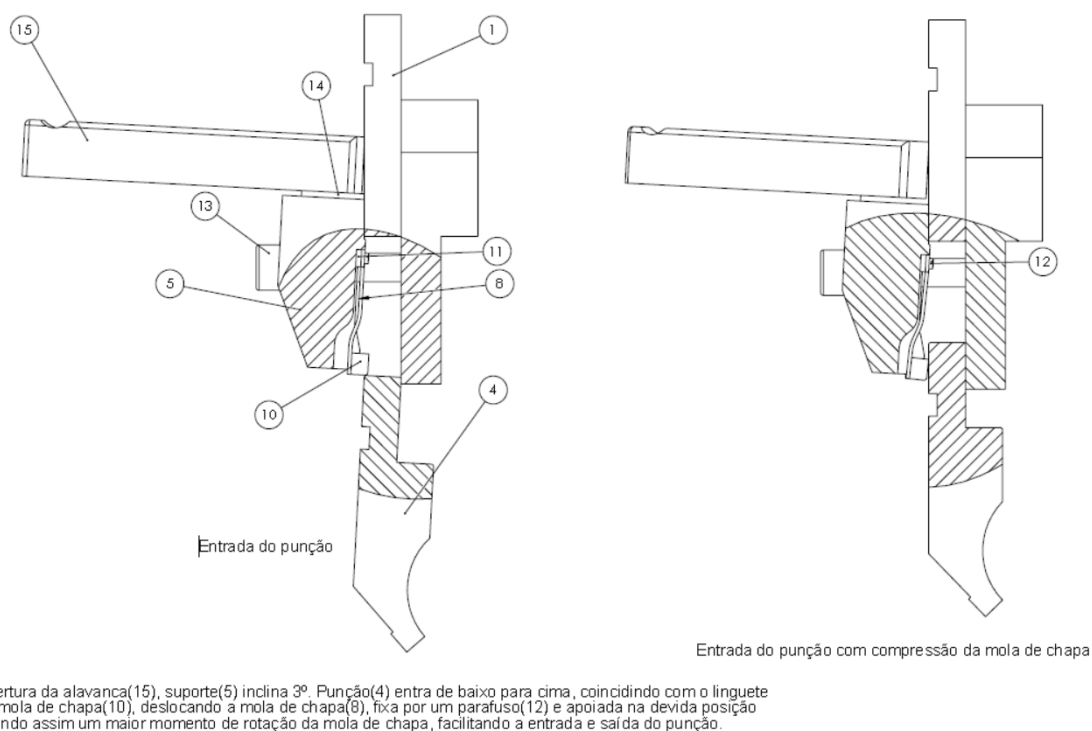
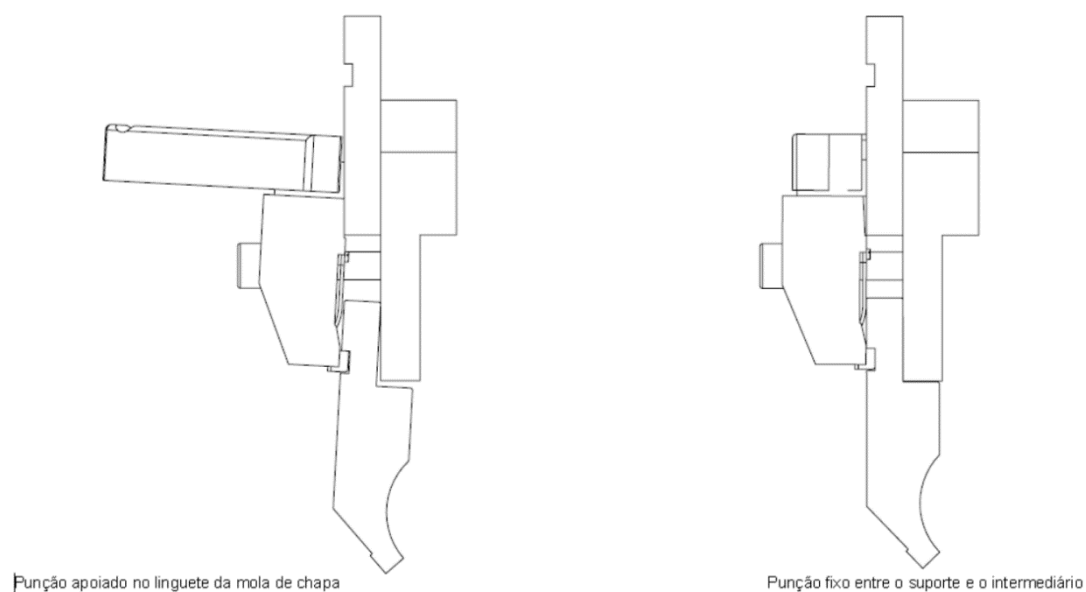
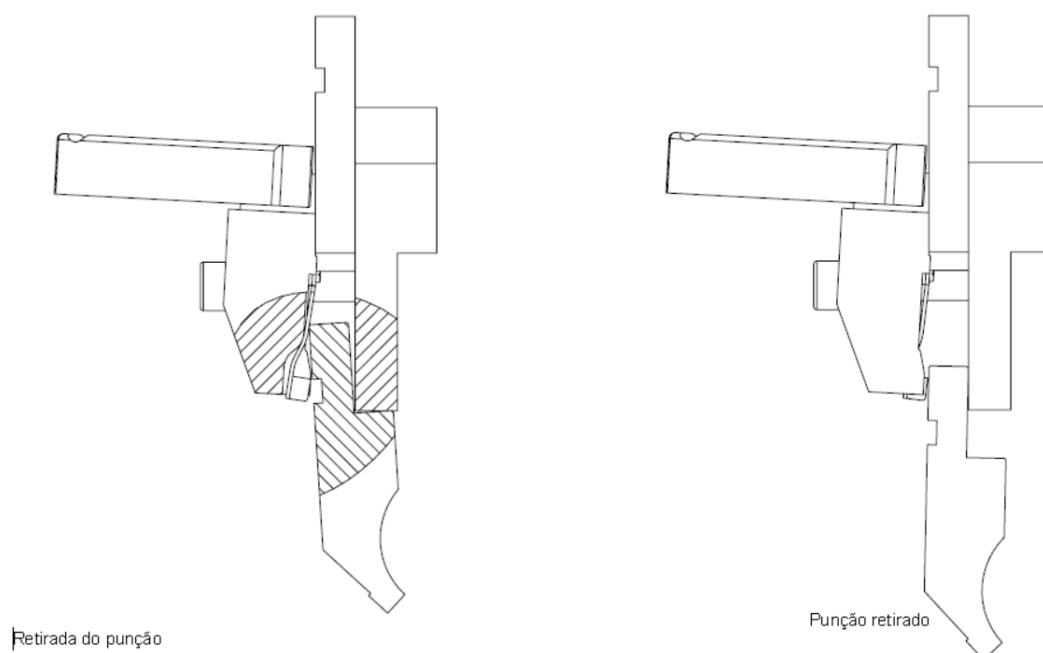


Figura 109 - Funcionamento do Suporte_5



Após o punção estar apoiado no linguete da mola de chapa o operador poderá então fixar o mesmo, podendo assim a quinadora iniciar a operação de quinagem. Para fixar o punção será necessário empurrar a alavanca no sentido horário de modo, ao punção ser puxado, sendo o suporte que realiza todo este ajuste, para cima e ficando justo entre o suporte e o intermediário.

Figura 110 - Funcionamento do Suporte_5



Depois de a quinagem estar realizada com a devida ferramenta, esta poderá ser então trocada, ou retirada, utilizando o seguinte esquema de operações. Alavanca abre no sentido anti horário, suporte inclina-se por acção da gravidade. O punção fica apoiado no linguete da mola de chapa. Inclinam a parte inferior do punção em direcção ao intermediário, obrigando a parte superior a movimentar a mola de chapa. Ao longo deste movimento começa a libertar o punção por acção da gravidade.

Figura 111 - Funcionamento do Suporte_5

Após estar encontrada a solução de um novo suporte, utilizando molas de lâminas estar bastante desenvolvida, foi considerado um caminho alternativo para o desenvolvimento de um novo suporte, sendo esta solução denominada como solução “B” do projecto. Nesta solução pretende-se seguir o caminho já utilizado por outras empresas e investigadores nesta área, utilizando única e exclusivamente molas helicoidais.

Sendo assim, partiu-se mais uma vez de uma folha em branco para chegar a uma solução viável, que possa ser prototipada e comercializada.

Na figura 112 é apresentada uma solução semelhante a algumas já existentes no mercado, embora não seja viável pois o denominado *Ball End*, produto da *HPC-Europe*, assinalado como 1, apresenta grande desgaste e não garante a fixação total do punção no suporte. O elemento assinalado como 2 apresenta uma geometria bastante complicada para ser realizada por maquinagem.

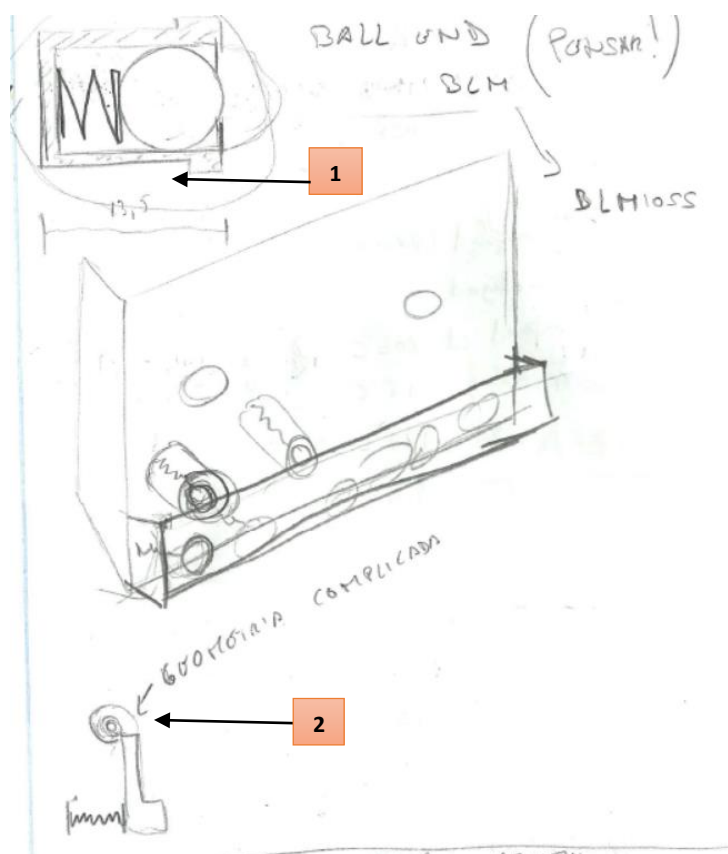


Figura 112 - Esboço de um possível sistema de fixação utilizando mola helicoidal

Com mais uma solução deixada de parte, realizou-se um esboço em papel de outra, em que depois se partiu para o respectivo desenho 3D, para uma melhor percepção da mesma, a qual foi designada por Suporte_1 (figuras 113 e 114). Logo no início foi perceptível que esta solução

não ia ter grande viabilidade, pelo que foi deixada de parte, pois não iria ser fácil alojar a mola e realizar um dente de apoio que impedisse a queda do punção.

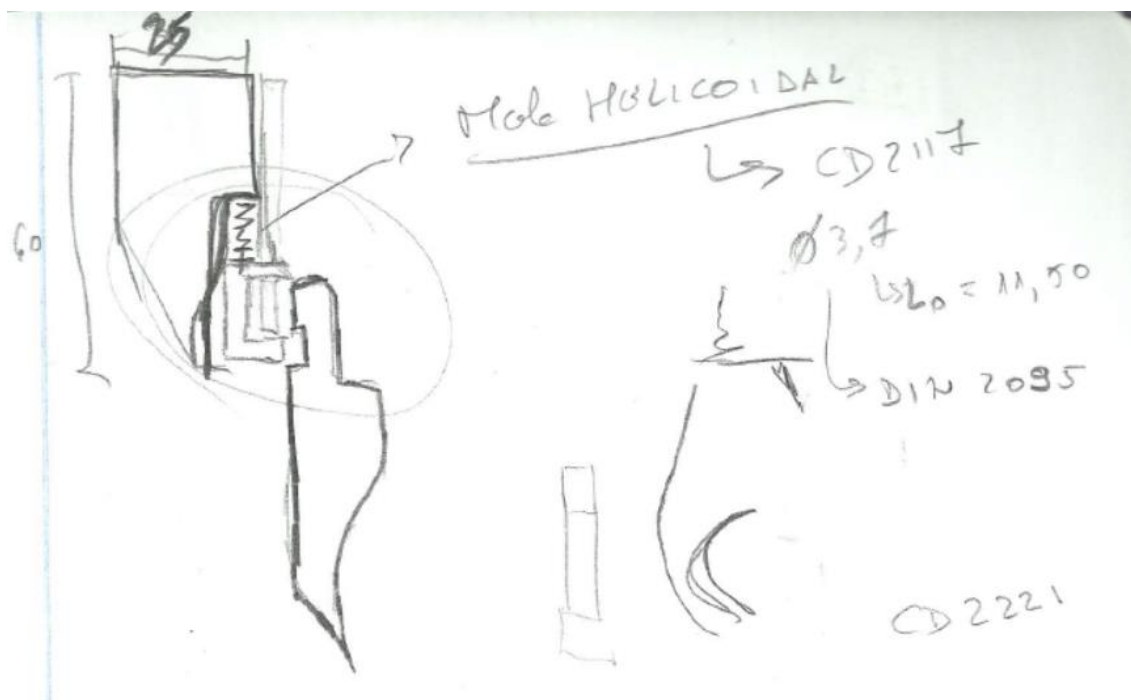


Figura 113 - Esboço de um possível sistema de fixação utilizando mola helicoidal

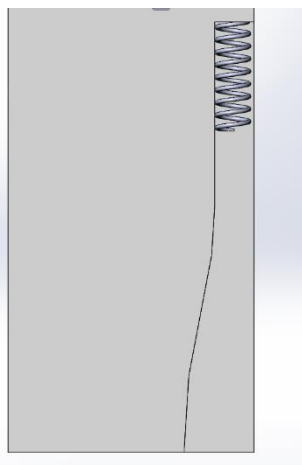


Figura 114 - Esboço em 3D, do mesmo sistema de fixação

Após abandono da solução anterior, foi realizado um novo esboço, representado na figura 115, mas esta solução só iria garantir que o punção entrava e ficaria engatado no dente de apoio, porque não era possível fazer a retirada do mesmo do suporte.

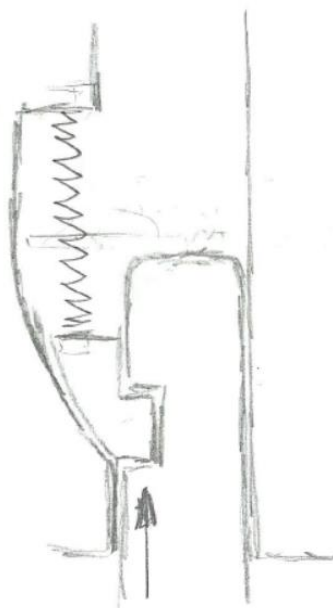


Figura 115 - Esboço de um sistema de fixação com a utilização de mola helicoidal

Tentando implementar a solução anteriormente apresentada, realizou-se um desenho 3D, denominado de Suporte_2 (figura 116), em que esta também não mostrou ser viável, pois o punção, mesmo com um dente para fazer o punção sair não funcionaria nem a mola iria ficar sempre na mesma posição como tal, também esta solução foi abandonada.

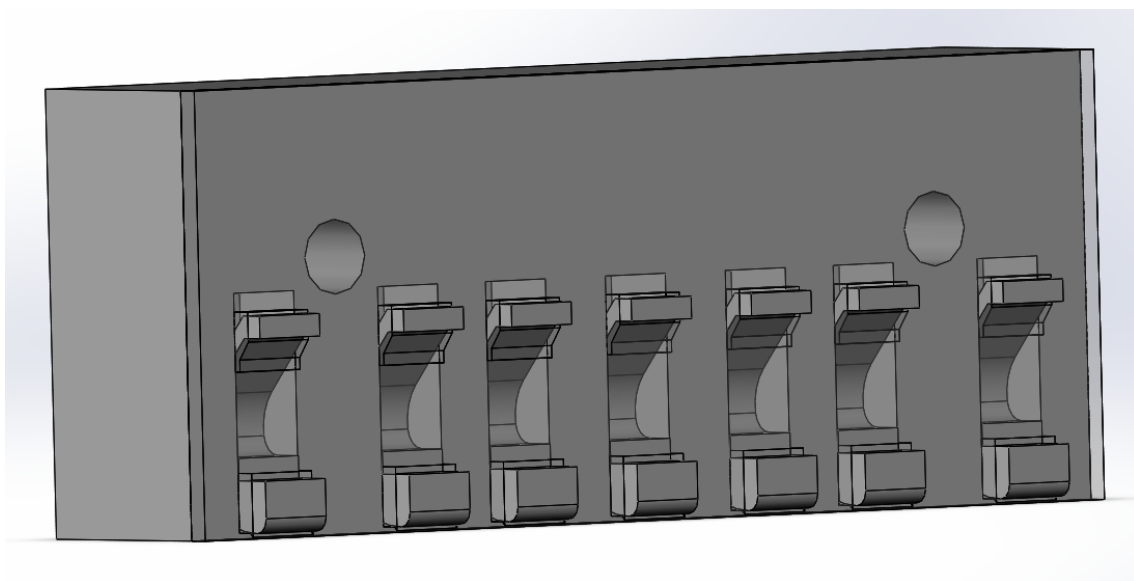


Figura 116 - Suporte_2 - mola helicoidal

Tal como para o desenvolvimento do suporte, com a utilização da mola de lâmina, foi-se tendo em conta as limitações das soluções anteriormente apresentadas, para tentar não ir de encontro aos erros já cometidos.

Deste modo, surgiu um sistema que pareceu mais exequível, bastante simples e económico, o qual foi denominado por Suporte_3 (figura 117). Neste sistema, o suporte iria ser simples de aperto manual (figura 118), mas auto ajustado através de molas helicoidais fixas numa caixa atrás do intermediário (figura 119). O punção conseguiria realizar os mesmos movimentos definidos para retirada e entrada do mesmo e, após ajustado o suporte, este iria fixar o punção, pois as molas iriam estar sob compressão e sempre com tendência a voltar à sua posição de repouso. Nas figuras seguintes poderá ver-se como este sistema foi projectado.

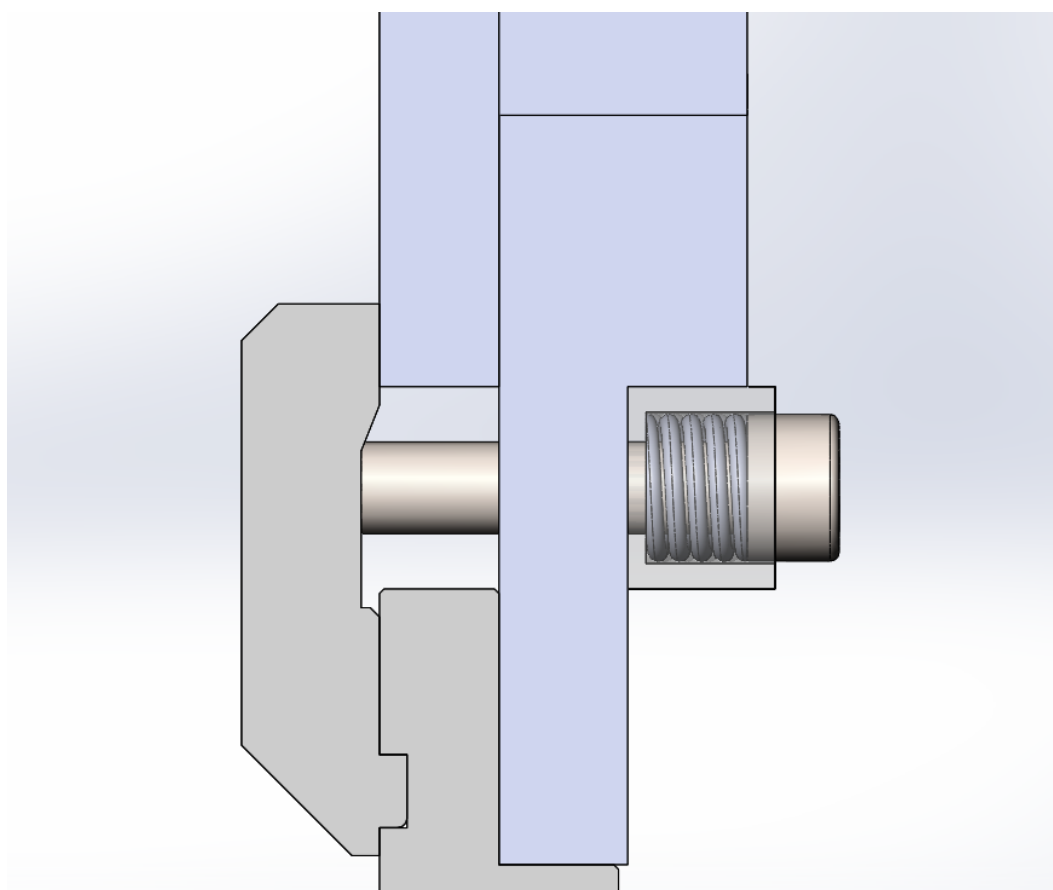


Figura 117 - Suporte_3

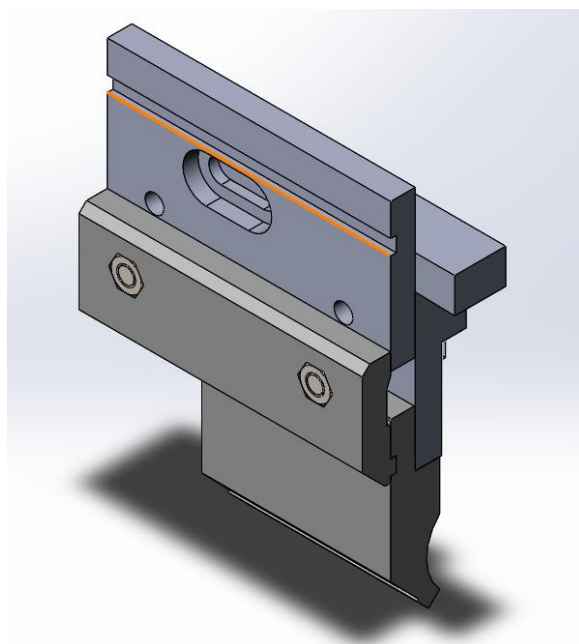


Figura 118 - Suporte_3

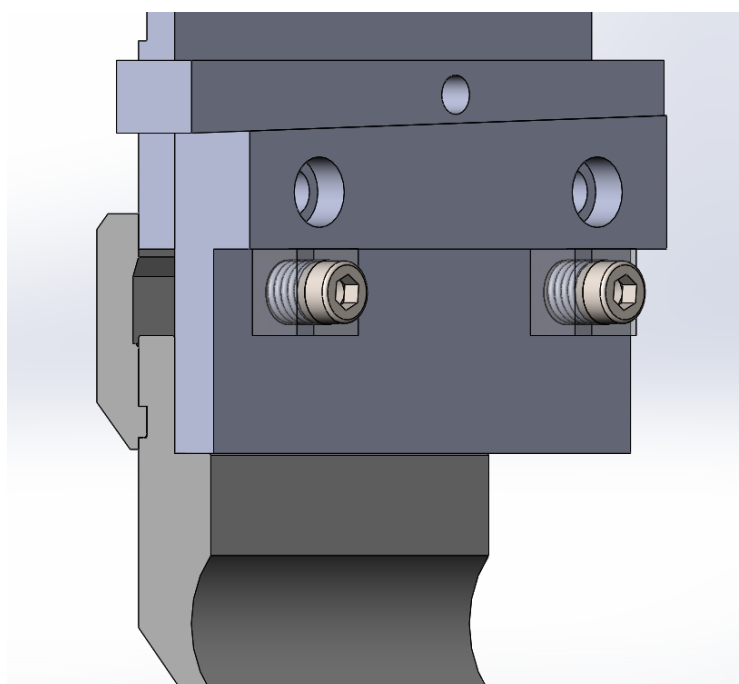


Figura 119 - Suporte_3

Após uma análise crítica ao funcionamento do Suporte_3, foi considerado que se poderia alterar as dimensões do intermediário, eliminando assim as caixas para as molas, e diminuindo igualmente o número de elementos, pois o intermediário terá de ser maquinado, e os custos de fazer uma caixa para os parafusos iriam fazer ultrapassar o valor estipulado de produção de um intermediário, pois estaria a adicionar-se mais 2 elementos, enquanto que ao maquinar o intermediário, poderá já deixar-se já uma caixa para colocação dos parafusos com as

respectivas molas. Nas figuras 120 e 121 a solução denominada Suporte_3.1 é apresentada, já incorporando essa alteração.

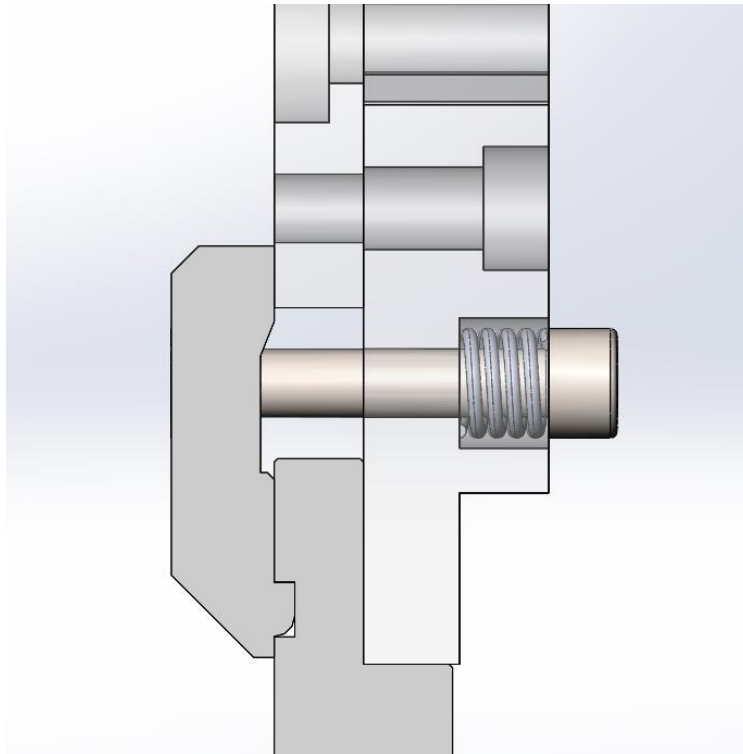


Figura 120 - Suporte_3.1

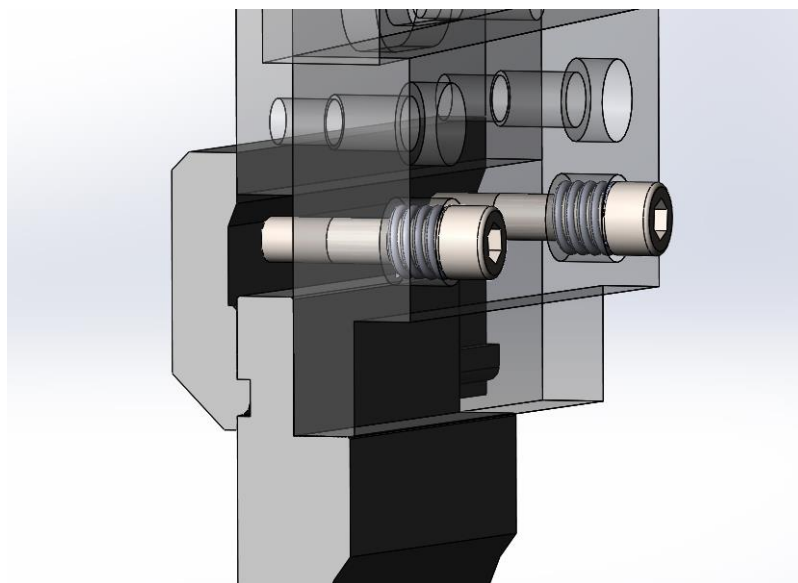


Figura 121 - Suporte_3.1

Como se considerou que a presente solução é viável, foi realizado um esquema de montagem e desmontagem do punção no intermediário, apresentado na figura 122 e no anexo III.

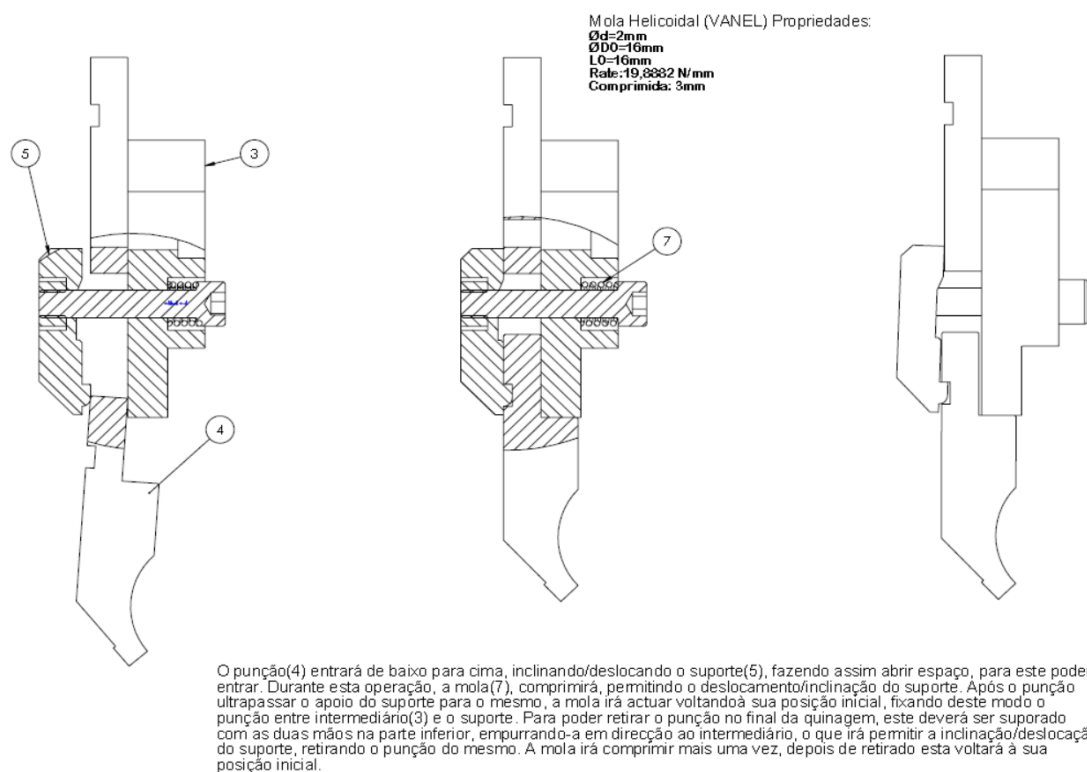


Figura 122 - Funcionamento do Sistema_3.1

Tendo o Suporte_3 e Suporte_3.1, sido apontados como soluções viáveis, tentou-se ir mais além, encontrando um sistema que fosse semelhante aos já encontrados no mercado, mas ao mesmo tempo diferente no seu modo de funcionamento. Num esboço realizado, chegou-se a uma possível ideia. Esse mesmo esboço é apresentado na figura 123, o qual levou a uma possível solução, denominada por Suporte_4.

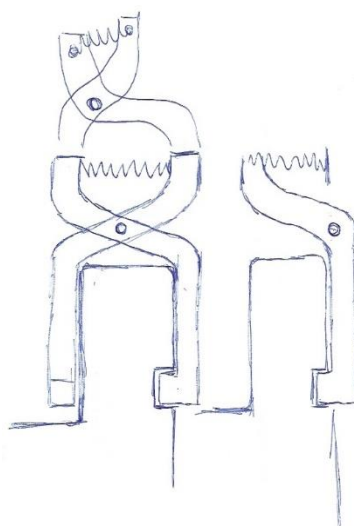


Figura 123 - Esboço de um possível dente de engate no *Safety Tang* do punção com a utilização de mola helicoidal

A solução Suporte_4 apresentou-se bastante viável. O único problema detectado era o movimento do dente, pois o ponto A da figura 124 iria entrar em contacto com o intermediário, não libertando espaço suficiente para retirar o dente, pois a sua rotação estaria algo limitada (figura 125).

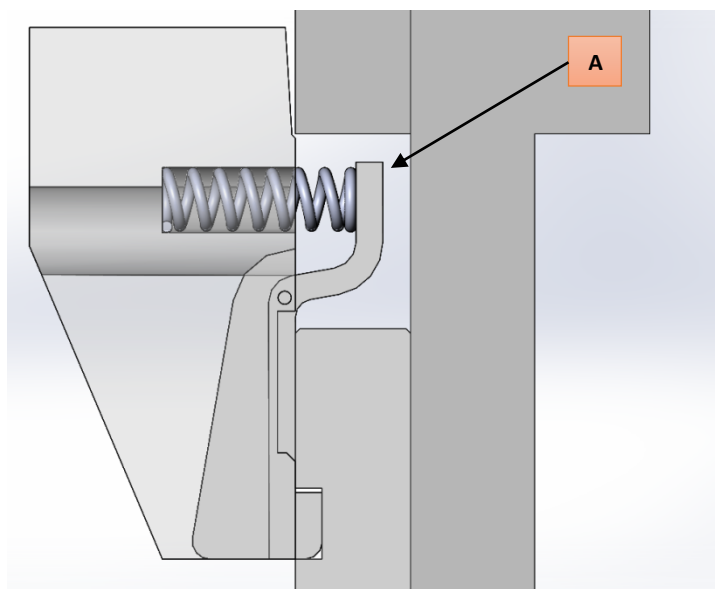


Figura 124 - Suporte_4: dente de engate no *Safety Tang* do punção

O processo de maquinagem do suporte seria bastante fácil de ser realizado.

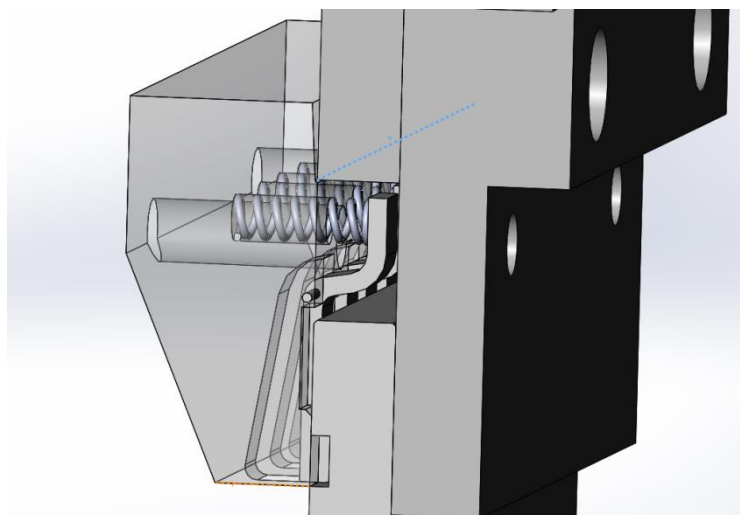


Figura 125 - Suporte_4: dente de engate no *Safety Tang* do punção

Sendo assim, tentou-se inverter o dente, facilitando o movimento do mesmo e o seu desgin, denominando-se assim esta solução por Suporte_5.

Este suporte apresenta bastantes semelhanças no seu funcionamento com o suporte_4 (figura 125), utilizando mola de lâmina, sendo algo mais complexo e com diversos pormenores mais complexos na maquinação, embora perfeitamente exequíveis.

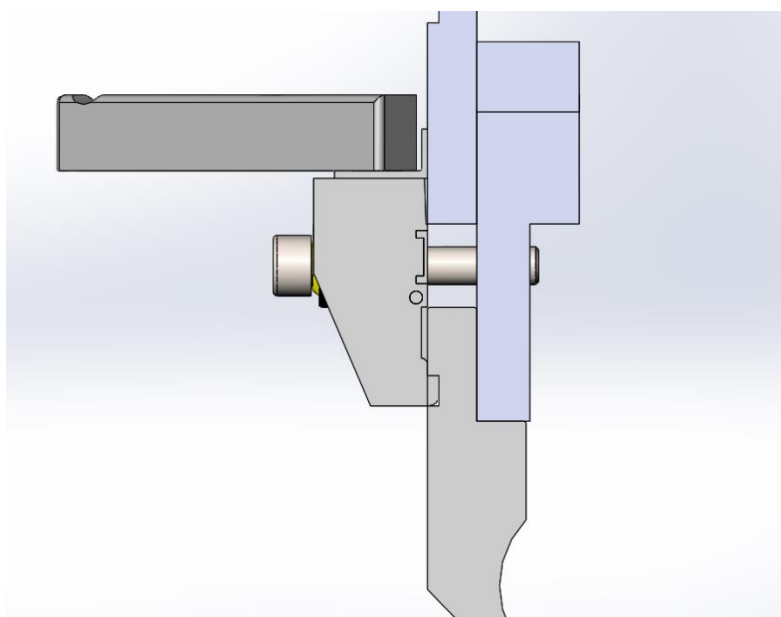


Figura 126 - Suporte_5

O Suporte_5 (figura 126) utiliza alguns elementos e pormenores também utilizados na solução da mola de lâmina, tais como dimensões da geometria do suporte e utilização dos casquilhos esféricos, permitindo, tal como explicado anteriormente, a rotação do suporte, o que facilita a entrada e saída do punção. A evolução deste suporte relativamente ao suporte_4 (figura 125)

é, como referido anteriormente, a alteração do dente de engate no *Safety Tang* do punção, utilizando-se agora uma mola na face superior para o dente poder ir sempre de encontro à sua posição inicial, tal como é apresentado na figura 127.

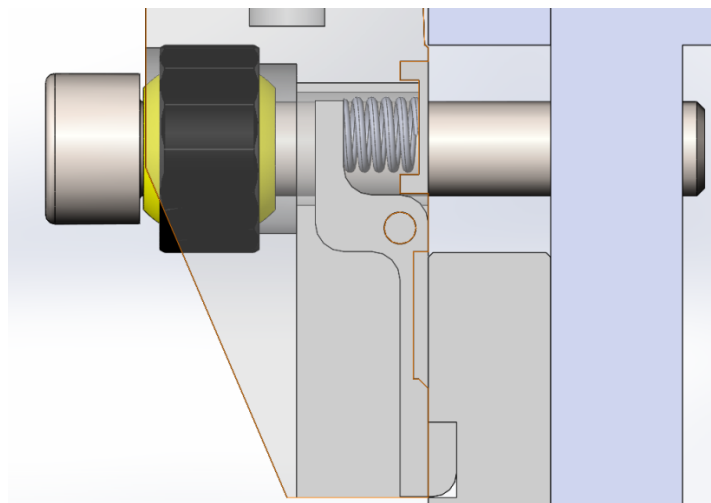


Figura 127 - Suporte_5: dente de engate no *Safety Tang* do punção

Tal como na solução da mola de lâmina, foi realizado um estudo do movimento de engate, aperto e desengate do punção, com o suporte e o intermediário, apresentado nas figuras 128, 129 e 130 e no anexo IV.

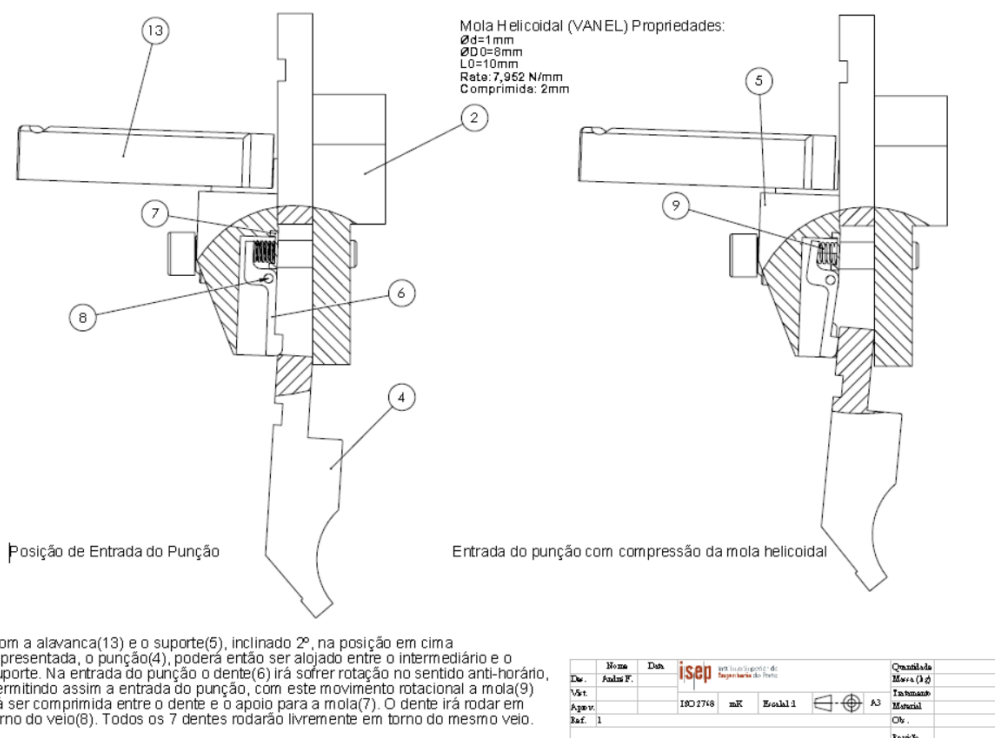


Figura 128 - Funcionamento do Suporte_5: Engate

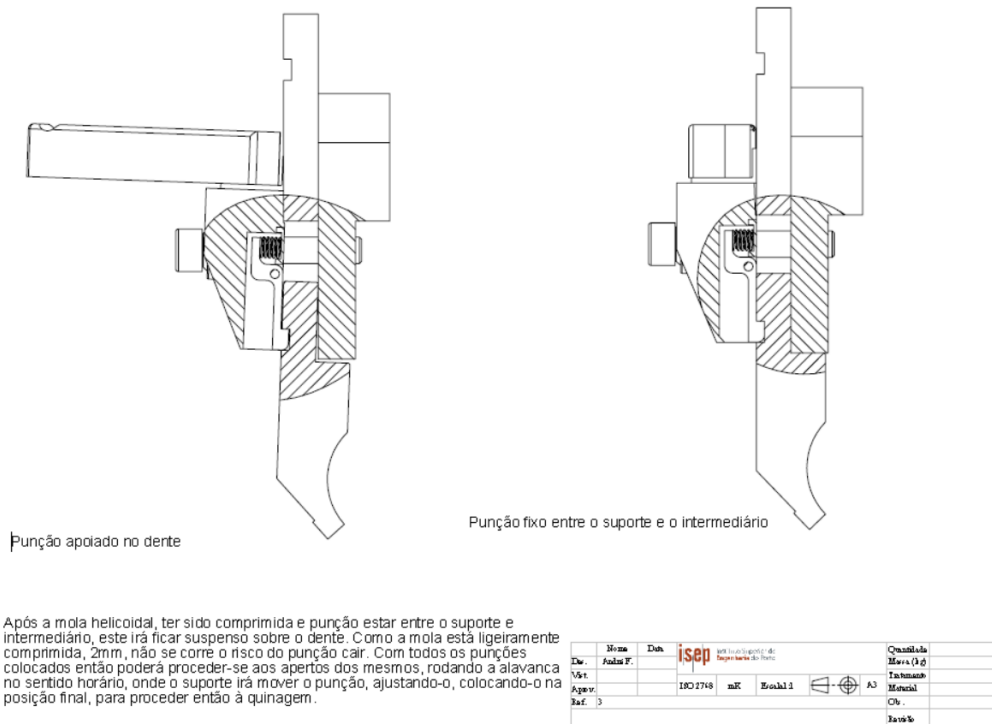


Figura 129 - Funcionamento do Suporte_5: Fixação

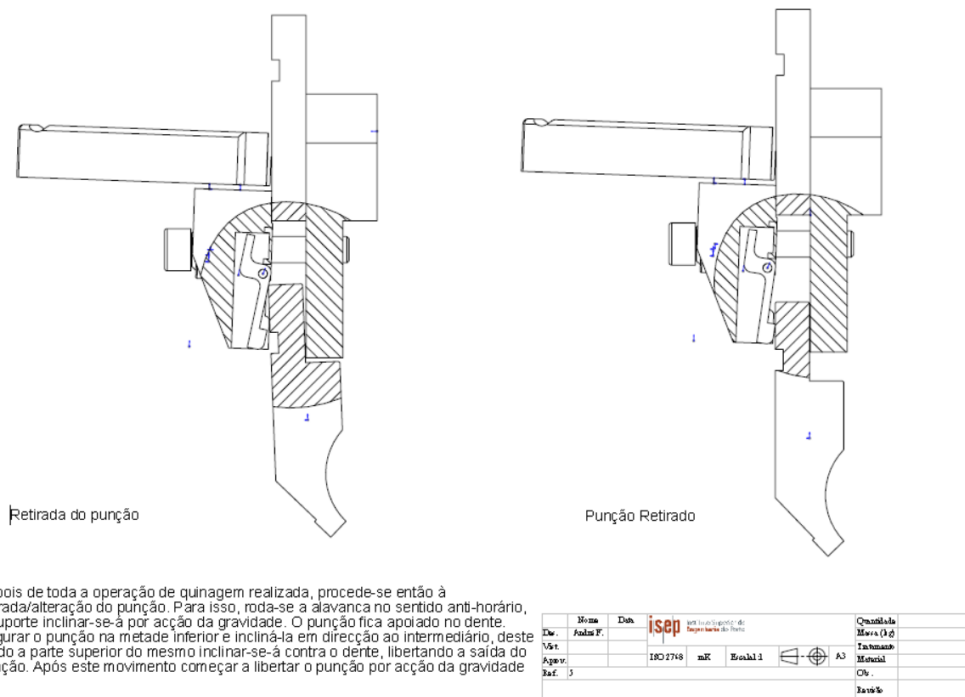


Figura 130 - Funcionamento do Suporte_5: Desengate

Nas tabelas 5 e 6 é apresentado uma comparação entre os vários sistemas de fixação idealizados na tempestade de ideias.

Tabela 5 - Comparação Entre Sistemas de Fixação de Mola de Lâmina

	Maquinagem	Custos	Funcionamento	Capacidade de Aguentar o Peso do Punção
Suporte_1	Difícil	Elevados	Não Cumpre	Não Suporta
Suporte_2	Difícil	Elevados	Cumpre	Não Suporta
Suporte_3	Difícil	Elevados	Não Cumpre	Não Suporta
Suporte_4	Mediana	Médios	Cumpre	Suporta
Suporte_5	Fácil	Baixos	Cumpre	Suporta

Tabela 6 - Comparação Entre Sistemas de Fixação de Mola Helicoidal

	Maquinagem	Custos	Funcionamento	Capacidade de Aguentar o Peso do Punção
Suporte_1	Mediana	Médios	Não Cumpre	Não Suporta
Suporte_2	Difícil	Elevados	Não Cumpre	Não Suporta
Suporte_3	Fácil	Baixos	Cumpre	Não Suporta
Suporte_4	Mediana	Médios	Não Cumpre	Suporta
Suporte_5	Mediana	Médios	Cumpre	Suporta

Como se pode verificar pela análise das tabelas 5 e 6, consta-te que os sistemas de fixação que se apresentam como possíveis soluções são o Suporte_5 da tabela 5, que é o sistema que utiliza mola de lâmina e o Suporte_3 e Suporte_5 da tabela 6, utilizando unicamente molas helicoidais.

3.4. Anteprojecto dos novos sistemas de fixação

Com três soluções possíveis de ser colocadas em protótipo e funcionais, e com o esquema de funcionamento representado, foram apresentadas na empresa estas 3 soluções, uma com mola de lâmina e duas com molas helicoidais. Após uma análise mais experiente na área da quinagem e suportes de fixação, foram aceites duas das três soluções apresentadas, sendo elas o Suporte_5 de mola de lâmina e também o Suporte_5 com a utilização da mola helicoidal, apresentados nas figuras 131 e 132.

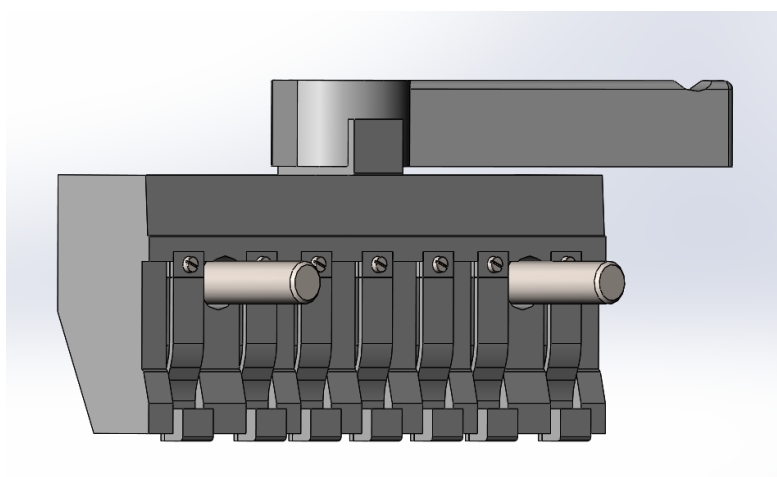


Figura 131 - Suporte_5 - Mola de lâmina

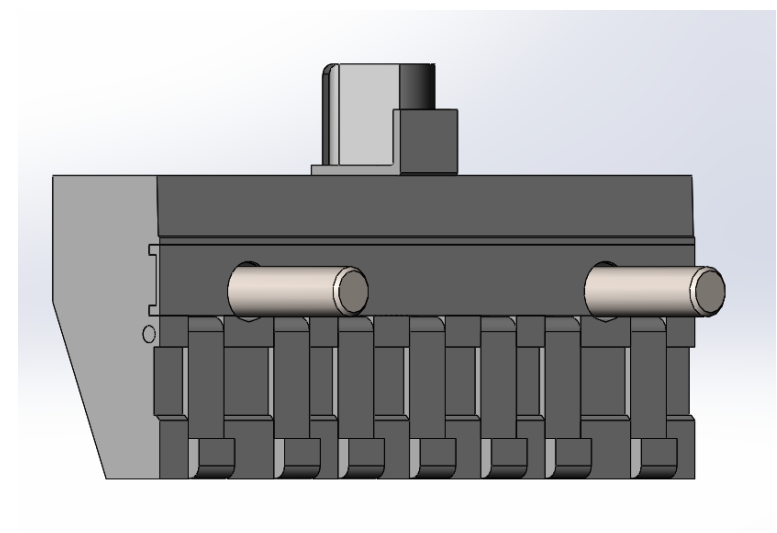


Figura 132 - Suporte_5 - Mola helicoidal

Analisando alguns parâmetros nos dois suportes, tanto de produtividade como de funcionalidade, chegou-se à conclusão que seria mais fácil produzir a solução que utiliza a mola de lâmina. Após uma análise cuidada todos os desenhos esquemáticos de funcionamento

e para os detalhes assinalados nas figuras 109, 110 e 111, foi aconselhada a revisão dos desenhos, aperfeiçoando-os para uma produção mais rápida e simples, bem como outros parâmetros que garantam o funcionamento e fixação correcta do suporte. Sendo assim, são apresentados em baixo os pontos a alterar.

- O dente de apoio terá de ter numa superfície 45° na parte inferior para facilitar a entrada do punção;
- Terá de ser aplicado um apoio em todo o comprimento do suporte, para garantir que o punção fica fixo uniformemente, em qualquer posição, que terá de ser aplicado logo acima do *Safety Tang*;
- A alavanca terá de ser revista, ponto muito importante, pois esta é que vai garantir que o punção fica fixo ao intermediário e se auto ajusta durante o seu movimento de posicionamento, porque até ao desenvolvimento actual só tinha sido definida a sua posição através de um esboço 3D da mesma;
- Os parafusos terão de estar dentro do suporte para manter a sua posição quando este não está montado. Terá de ser aplicada uma chapa de cobertura, para permitir uma maior segurança ao operador e para evitar uma eventual perda dos mesmos;
- A concavidade do suporte onde vão ser alojadas as molas terá de ser realizada em linhas rectas para facilitar a maquinagem;
- As partes boleadas e chanfradas no exterior do suporte terão de ser revistas, pois algumas não são praticáveis na maquinagem ou apresentam grandes custos, porque não poderá ser utilizada maquinagem convencional;
- É necessário garantir a folga necessária para todo o tipo de ferramentas, ou seja, a largura do dente, para encaixar no *Safety Tang*, terá de ter aproximadamente 6 mm;
- É necessário garantir que no aperto e depois na primeira quinagem, ou teste de posição, o punção se auto-ajusta no intermediário.

Em função das necessidades de alteração atrás mencionadas, foi revisto todo o desenho do conjunto e começou-se a alterar o projecto, para facilitar a produção e tornar a solução 100 % funcional e possível de ser comercializada.

Então, iniciou-se a correcção dos desenhos pelo suporte, corrigindo todos os pormenores.

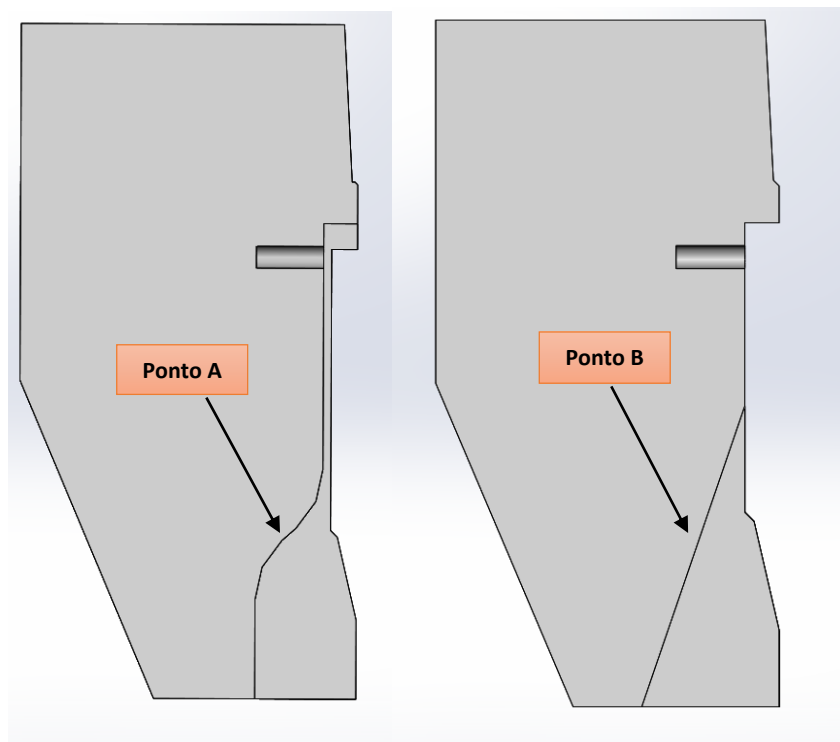


Figura 133 - Antes e depois do Suporte_5 - Mola de lâmina

Comparando as duas versões (pontos A e B) da figura 133, verifica-se que agora a maquinagem será muito mais fácil de realizar, pois já não existem superfícies curvas, sendo só necessário inclinar a peça de suporte para o ângulo desejado antes do início do desbaste do material.

Outro ponto a ser analisado na maquinagem diz respeito aos pontos A e B entre as molas de lâmina, tal como é apresentado na figura 134.

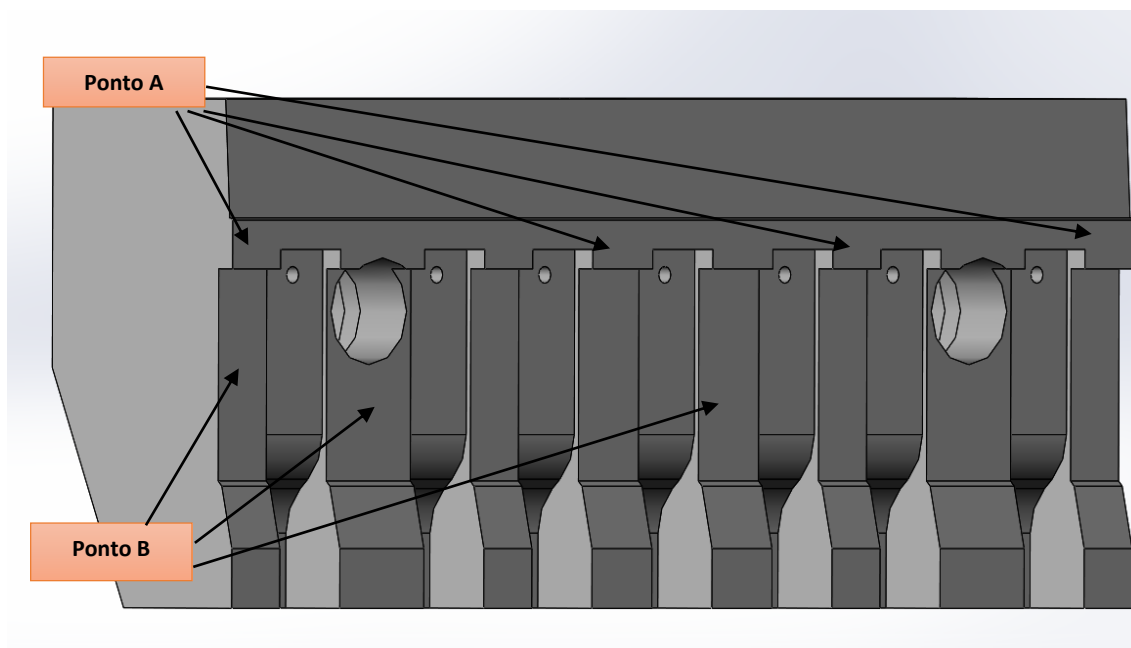


Figura 134 - Pontos críticos Suporte_5 - Mola de lâmina

Como seria muito mais difícil de realizar a maquinagem, para garantir as formas que são apresentadas na figura 134, foram então eliminados estes pontos, garantindo assim uma maior facilidade na maquinagem, em que a fresa só iria passar uma vez ao longo de toda a área, sempre com a mesma posição para o eixo ZZ'. Sendo assim, é apresentada na figura 135 a geometria final, otimizada em comparação com a apresentada na figura 134.

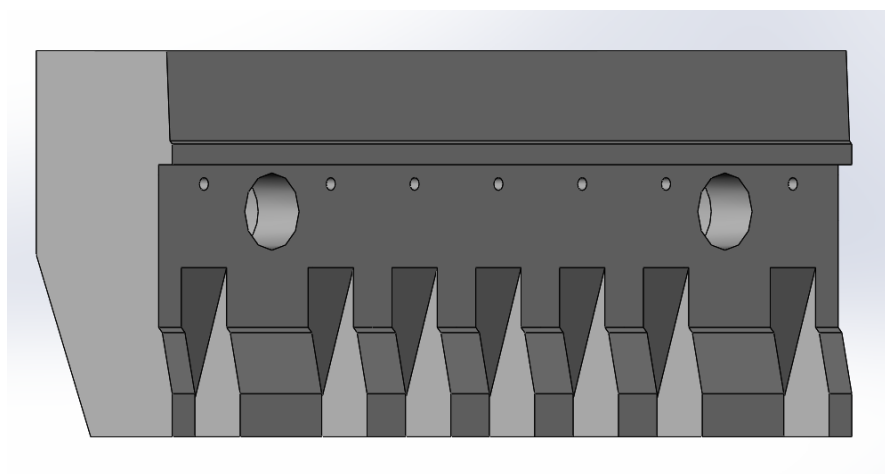


Figura 135 - Pontos corrigidos no Suporte_5 - Mola de lâmina

Como se pode verificar, é agora muito mais simples realizar a maquinagem e a peça. O suporte tornou-se muito mais simples, em termos geométricos.

Com esta limitação já resolvidos, passou-se então para um dos pontos seguintes, que será garantir que o punção fica totalmente fixo em todo o comprimento do suporte, ou seja, nos 150 mm, quer se coloque o mesmo numa das extremidades ou no meio. Após aperto da alavanca, terá que ser garantido que o punção fica totalmente fixo entre o suporte e o intermediário. Para solucionar este problema, definiu-se uma estratégia em que seria necessário colocar uma barra de aço no suporte, alguns milímetros acima do *Safety Tang*, por forma a que esta garantisse o aperto total do punção na zona correcta. Nas figuras 136 e 137 poderá ver-se essa alteração. Na primeira destas figuras apenas se vê a posição onde a barra ficará no suporte, definida como ponto A, enquanto na segunda figura já se observa a montagem da barra no suporte.

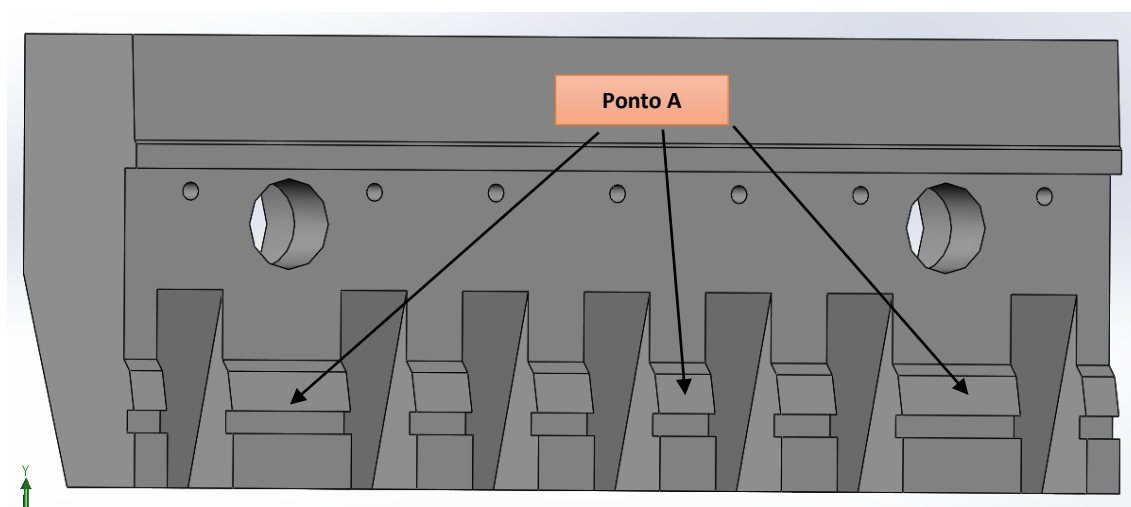


Figura 136 – Aplicação de rasgo no Suporte_5 - Mola de lâmina

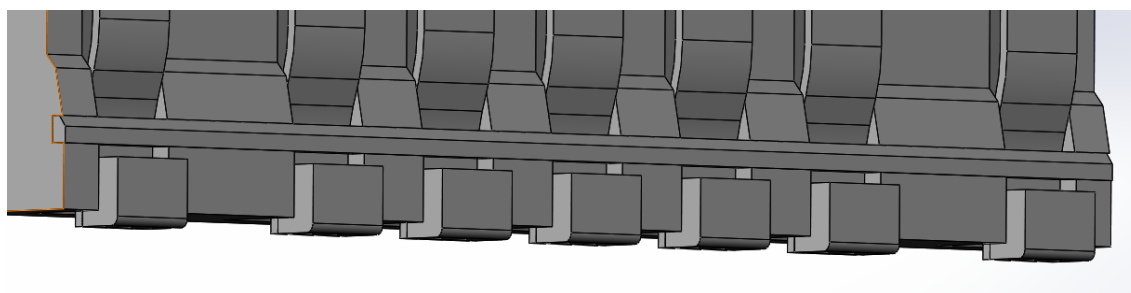


Figura 137 - Aplicação de rasgo no Suporte_5 - Mola de lâmina

Com a barra na devida posição surgiu outro problema, pois esta está ligeiramente mais espessa que as dimensões do suporte. É necessário garantir o aperto total, como se verifica na figura 138, assinalado como ponto A. Considera-se que, após diversas utilizações, a barra iria sofrer desgaste e ao fim de algum tempo, antes do final do seu ciclo de vida, já não iria garantir o aperto em todo o comprimento do punção relativamente ao suporte e intermediário.

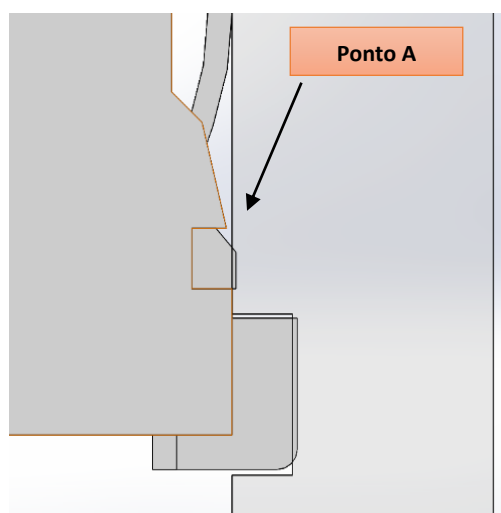


Figura 138 - Sistema de fixação uniforme no Suporte_5 - Mola de lâmina

Deste modo, para solucionar o problema do desgaste da barra de aço, encontrou-se uma solução que consiste em utilizar dois parafusos sem cabeça, usualmente designados por cavilhas roscadas, que posicionam a barra na posição desejada. Esta solução encontra-se representada nas figuras 139, 140 e 141.

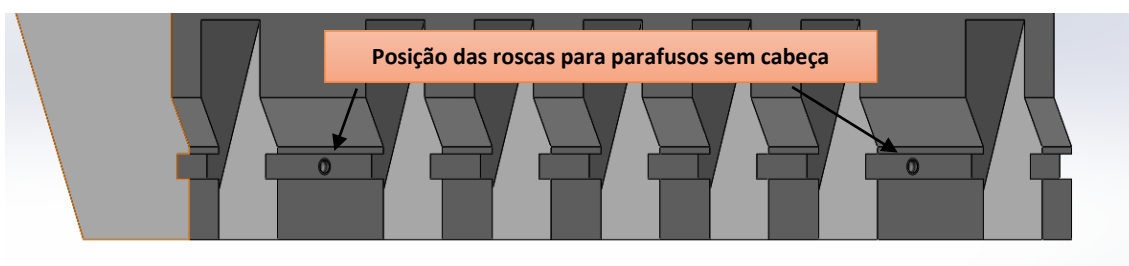


Figura 139 - Posição das roscas para os parafusos sem cabeça - Suporte_5 - Mola de lâmina

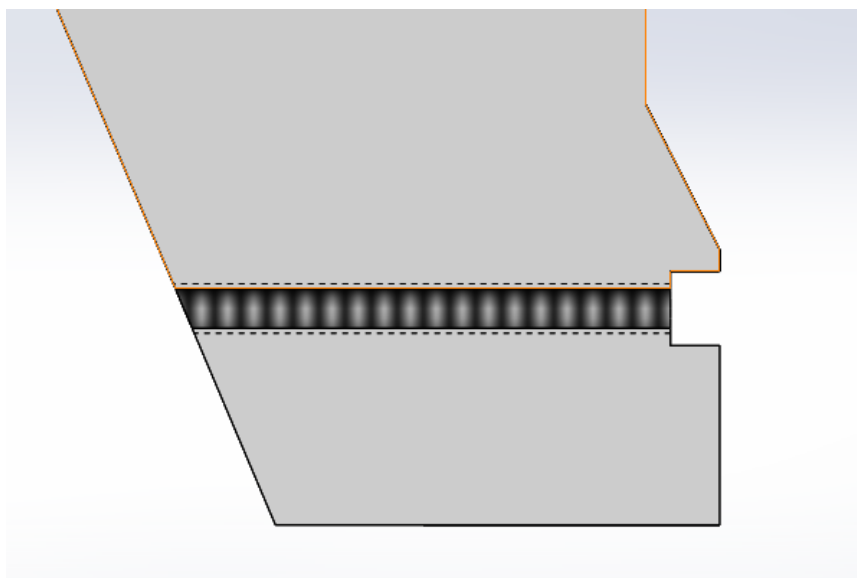


Figura 140 - Vista em corte do furo de localização dos parafusos sem cabeça - Suporte_5 -
Mola de lâmina

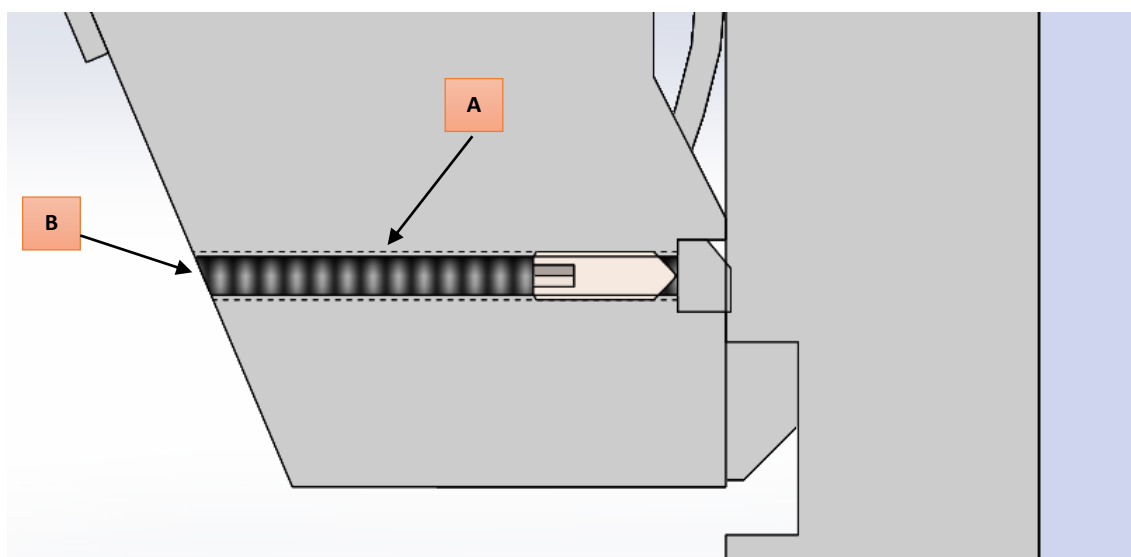


Figura 141 - Local a ser alterado para fácil aperto do parafuso sem cabeça - Suporte_5 - Mola
de lâmina

Após uma análise mais cuidada, verificou-se que seria bastante complicado realizar o furo assinalado como A, bem como depois realizar o aperto do parafuso. Como solução ao problema anterior, equacionou-se aumentar o diâmetro desse mesmo furo no local B, garantindo assim uma maior facilidade no aperto do parafuso sem cabeça. Na figura 142 poderá verificar-se esta alteração ao suporte.

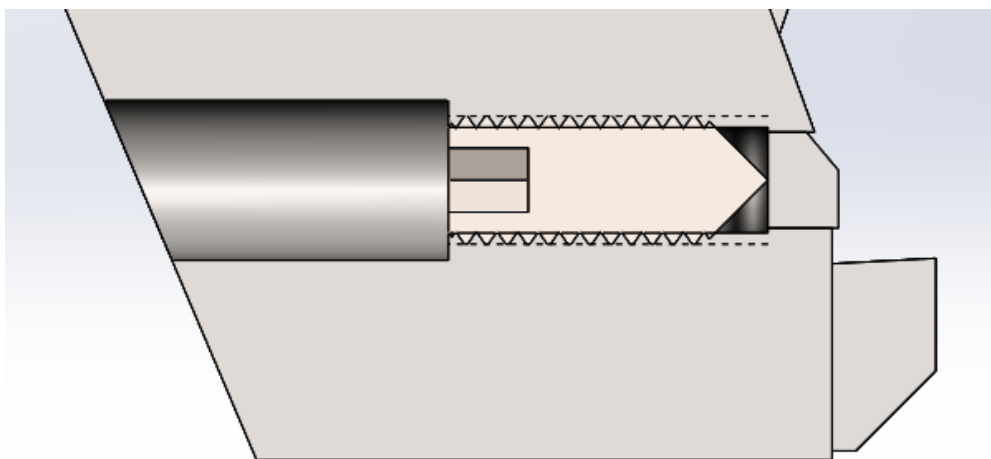


Figura 142 - Alteração realizada no Suporte_5 - Mola de lâmina

Com este ponto revisto e solucionado, deu-se início à resolução do próximo ponto, que consiste na alteração do dente de apoio, em que este deve possuir uma superfície inclinada a 45° , de modo a facilitar a entrada do punção. Sendo assim, poderá comparar-se na figura 143 a alteração realizada. Em que no dente alterado na parte superior, encontra-se inclinada para garantir que o punção se ajusta durante o aperto do suporte.

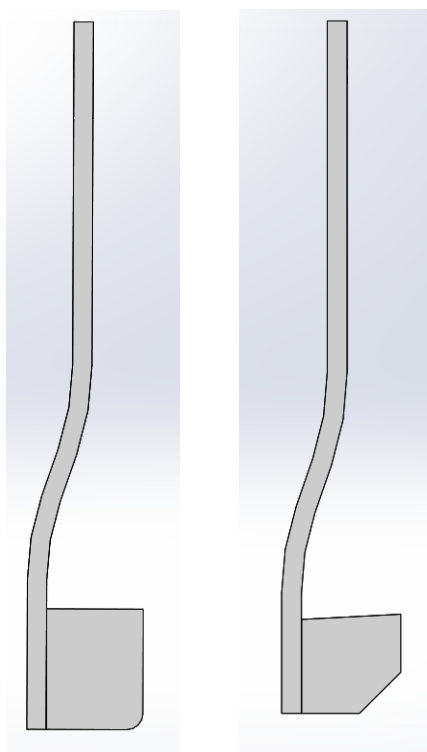


Figura 143 - Alteração do dente de engate no *Safety Tang* do punção

Outros pontos que podem ser analisados nestas figuras são a alteração da altura do dente de apoio, para garantir que existe a folga necessária para todo o tipo de punções, garantindo sempre a entrada dos dentes de apoio no *Safety Tang*.

Ainda outro ponto solucionado foi o auto-ajuste do punção no aperto do suporte contra o intermediário, garantindo assim que o punção fica na posição correcta, ou seja, a superfície A da figura 144 fica paralela à superfície B do intermediário, através da inclinação do dente de apoio.

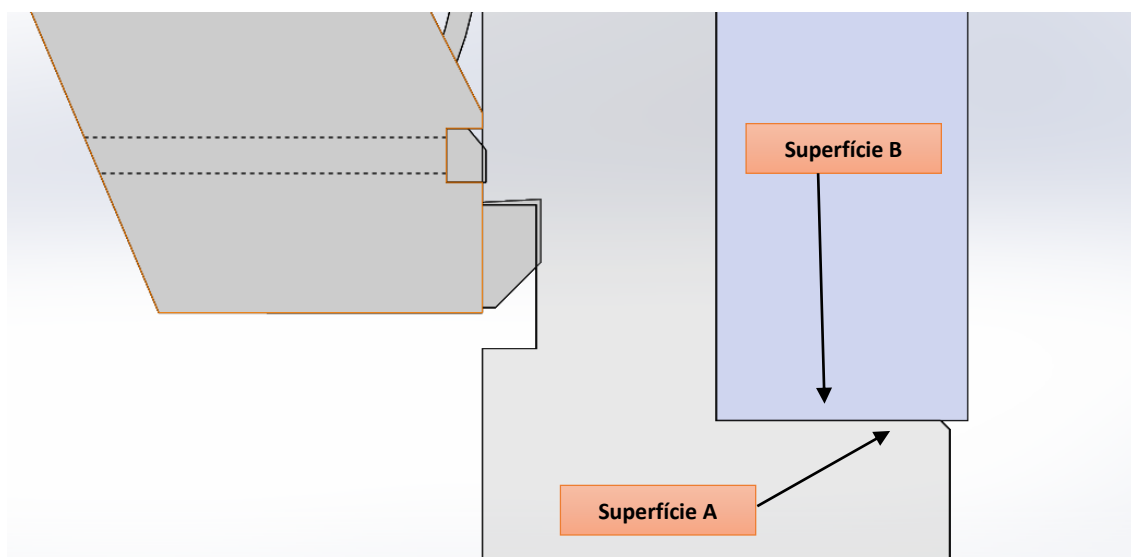


Figura 144 - Posição de fixação do punção Suporte_5 - Mola de lâmina

Ainda relativamente a esta inclinação do dente de apoio, garante-se que na posição aberta da alavanca, ou seja, desapertada, o punção não fica tão inclinado, o que se reflecte na redução do risco de este cair (figura 145).

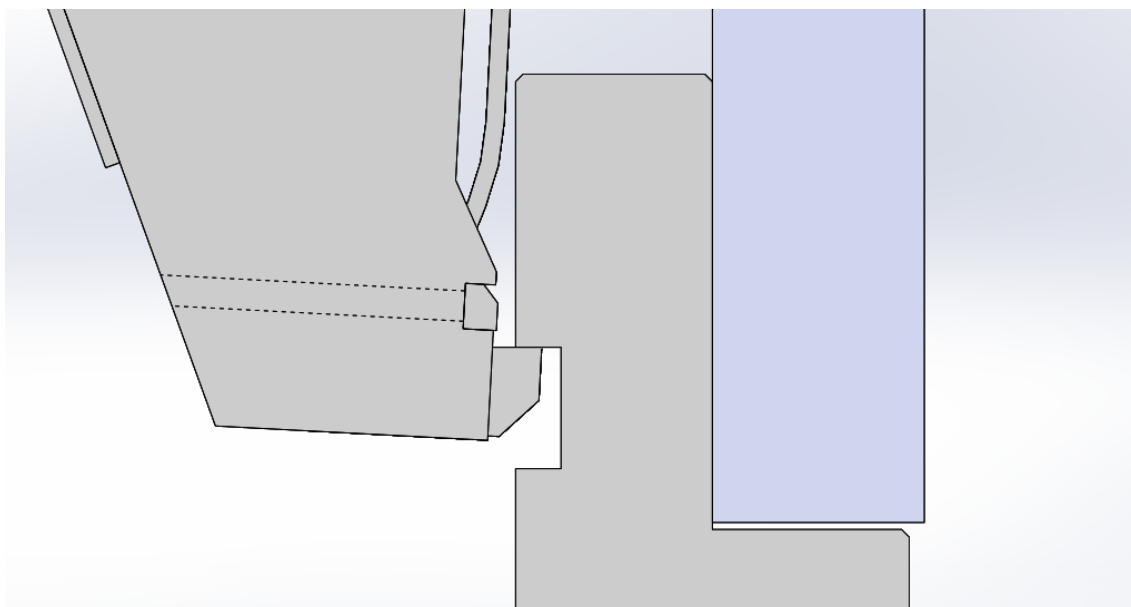


Figura 145 - Punção apoiado no dente de engate no *Safety Tang* do punção

Outra situação a rectificar está relacionada com todas as partes boleadas e chanfradas, que não eram praticáveis por maquinagem, ou então seriam de difícil realização.

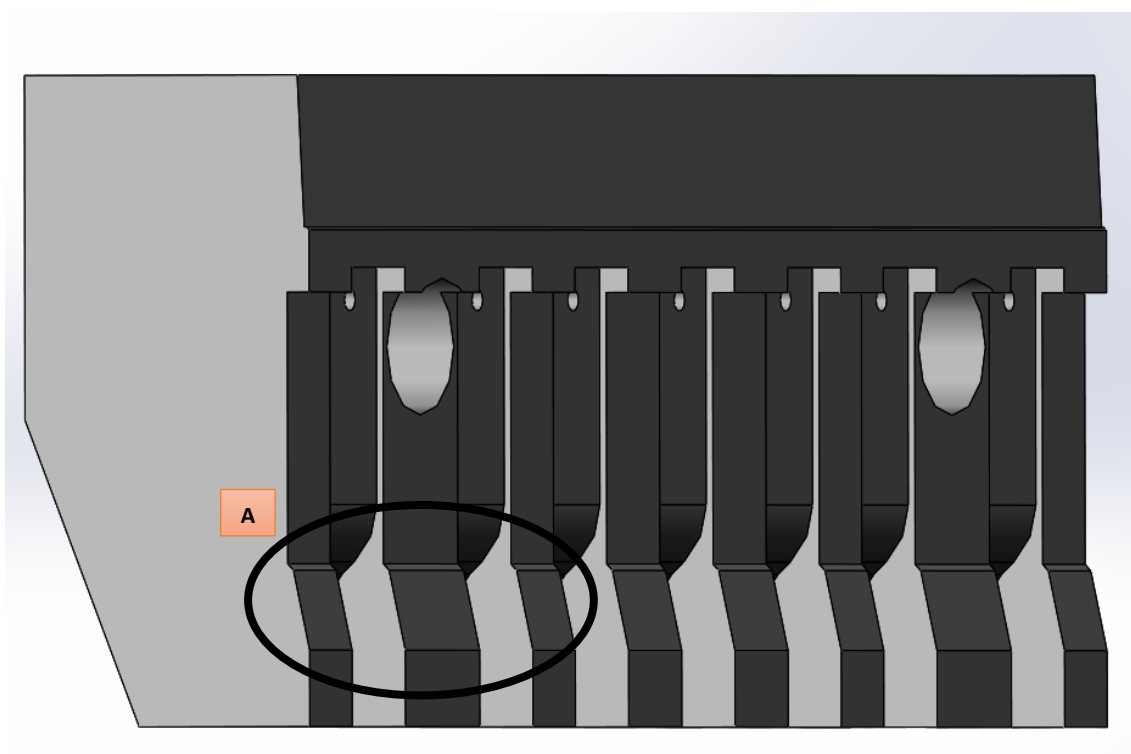


Figura 146 - Zona chanfrada de difícil realização - Suporte_5 - Mola de lâmina

A zona assinalada como A na figura 146 era uma zona mais dispendiosa de se realizar por maquinagem convencional, pois existiam dois degraus de inclinações diferentes a serem chanfrados, o que iria ser economicamente mais dispendioso. Este problema foi solucionado

pela utilização de apenas um ângulo de chanframento nessa zona, sendo mais fácil de realizar por maquinagem. O aspecto final encontra-se representado na figura 147.

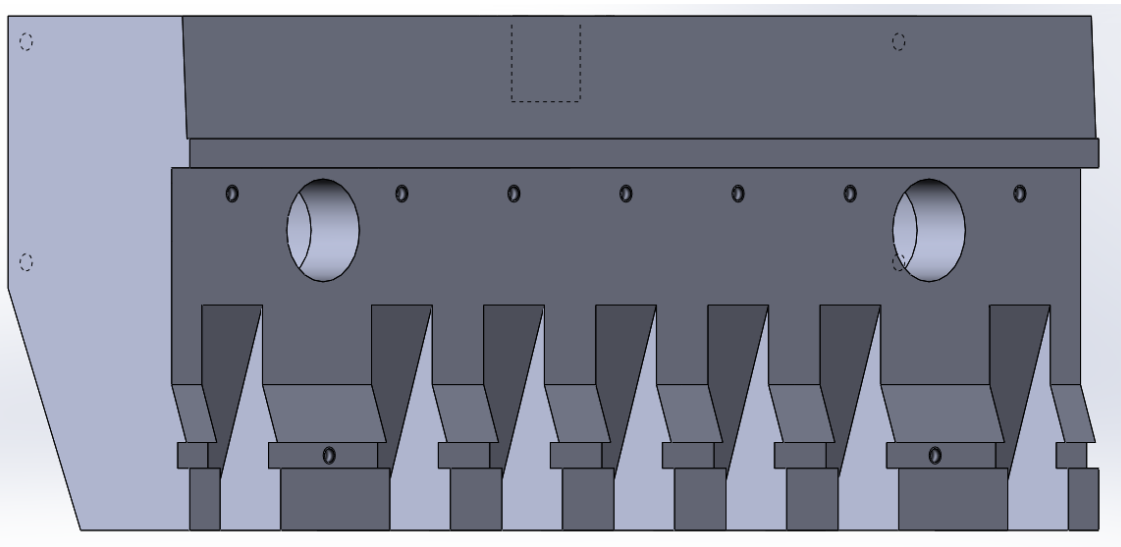


Figura 147 - Aspecto final do suporte na zona chanfrada - Suporte_5 - Mola de lâmina

A zona chanfrada, assinalada por A na figura 148, a ser obtida por maquinagem, pode originar grandes custos e dificuldade acrescida para o operador em programar o seu fabrico em CNC, ou então levar a que esta tenha de ser feita manualmente. Este chanfro era necessário para que, quando o suporte se inclinar, a superfície dessa zona chanfrada não colidisse com o intermediário.

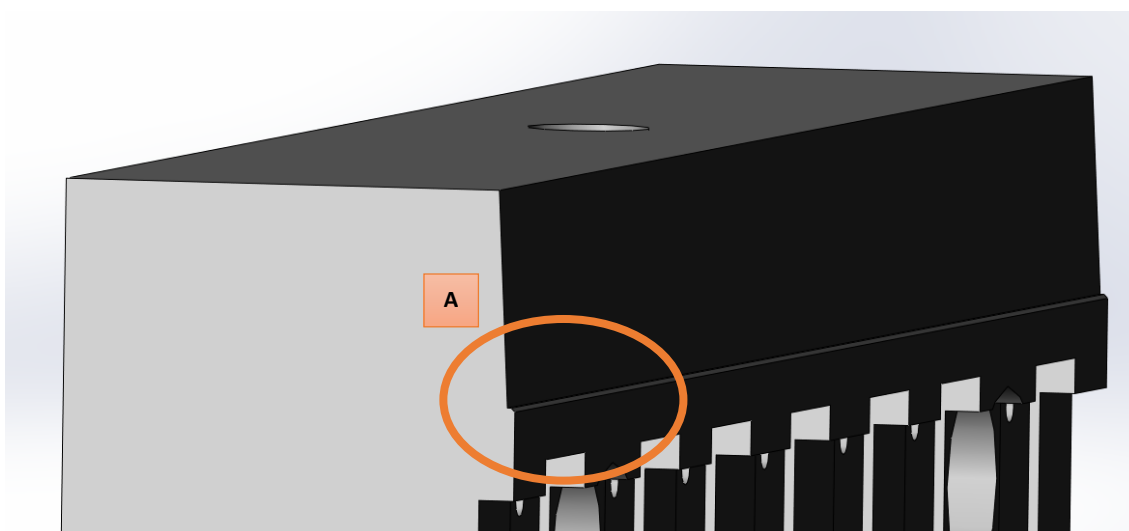


Figura 148 - Zona de difícil maquinagem - Suporte_5 - Mola de lâmina

Sendo assim, equacionou-se como alternativa aumentar o comprimento H, de modo a não ser necessário chanfrar a referida zona em A. Esta já não irá colidir com o intermediário, como se pode verificar na figura 149 e respectiva alteração na figura 150.

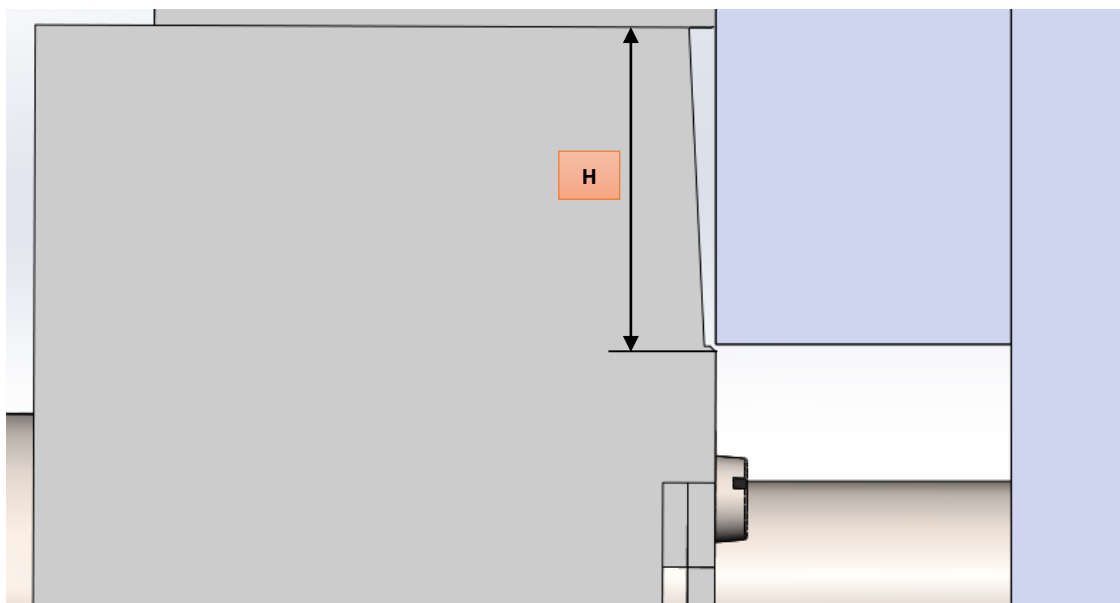


Figura 149 - Altura necessária do chanfro - Suporte_5 - Mola de lâmina

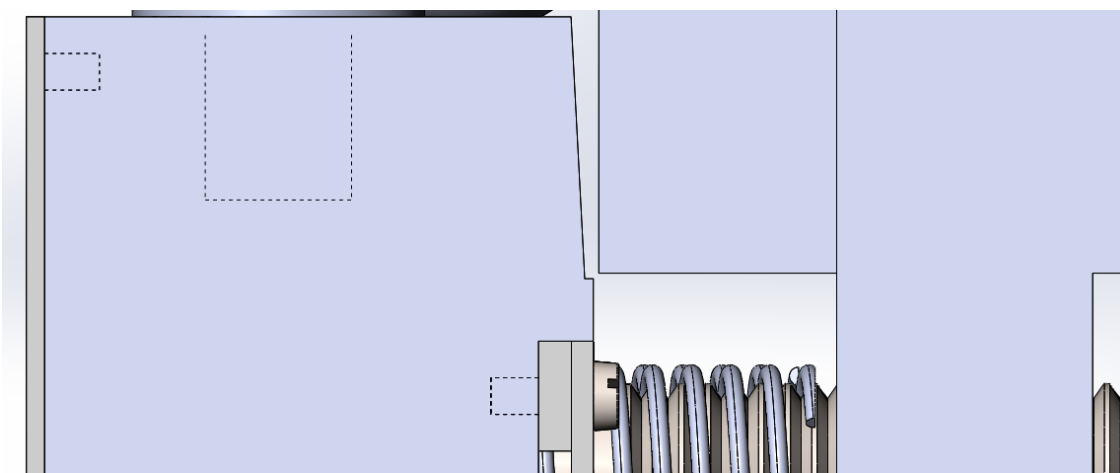


Figura 150 - Alteração efectuada - Suporte_5 - Mola de lâmina

Na figura 151 pode-se comparar o que foi explicado anteriormente, ou seja, o antes e o depois desta resolução, para facilitar a maquinagem, poupando nos custos do suporte.

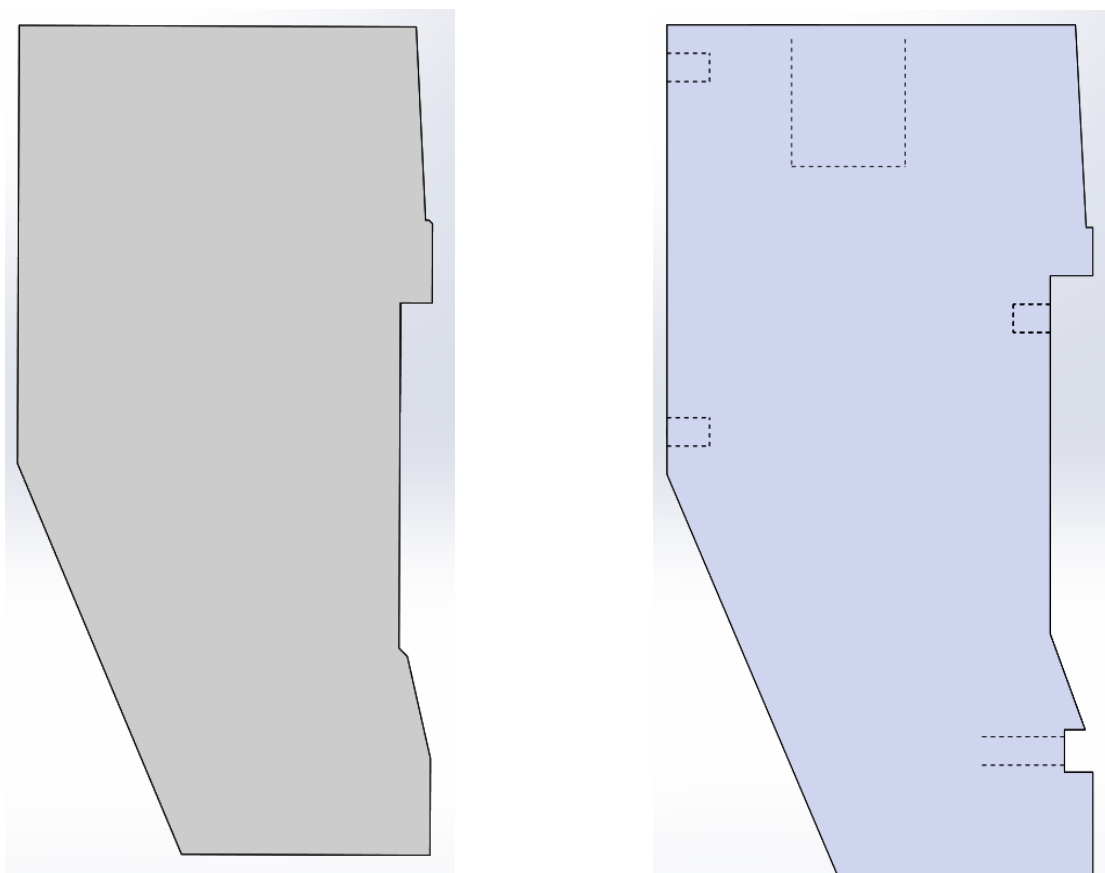


Figura 151 - Vista lateral da evolução do Suporte_5 - Mola de lâmina

Um dos pontos de particular relevância para alteração é a colocação de uma chapa de protecção para os parafusos, e o posicionamento destes na zona interior do suporte, tal como se pode ver na figura 152 (situação oposta).

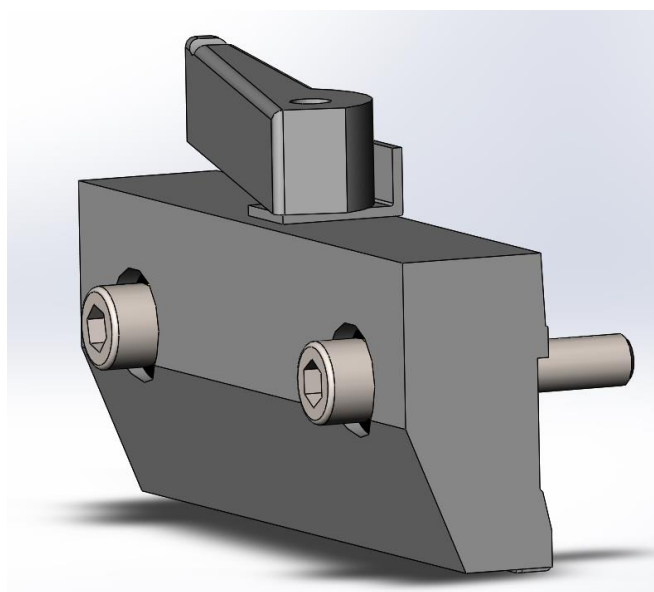


Figura 152 - Cabeça dos parafusos fora do limite de fronteira do Suporte_5 - Mola de lâmina

O motivo para a cabeça dos parafusos se encontrar fora do suporte está relacionada com a utilização do casquilho esférico. Na altura, foi a solução encontrada mais viável para solucionar o problema da inclinação do suporte, pois só através destes casquilhos, representados na figura 153, se conseguiria a inclinação de suporte, para facilitar as operações de entrada e saída do punção. A utilização de este casquilho esteve relacionada com o facto deste não necessitar de manutenção, sendo um material polimérico denominado *polymer iglidur® w300* encaixado num polímero *igumid®* (figura 154).

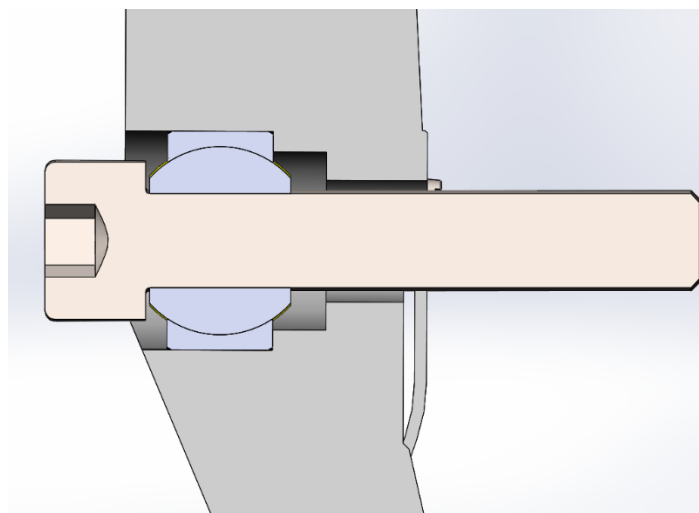


Figura 153 - Vista em corte - parafuso fixo no casquilho esférico - Suporte_5 - Mola de lâmina



Figura 154 - Casquilho esférico (HPC Europe)

A utilização destes casquilhos esféricos tornaria a maquinagem mais simples, pois na solução encontrada a parte de contacto do casquilho esférico terá de apresentar uma rugosidade de $0.8 \mu\text{m}$. Nesta solução, da figura 153, apenas seria necessária uma rugosidade média aritmética de $3.2 \mu\text{m}$, porque este valor de rugosidade é recomendado para superfícies de acoplamento de partes fixas, segundo a norma UNI 3963, enquanto o outro é usado em furos polidos, casquilhos de bronze e casquilhos rectificadas e superfícies de partes deslizantes, como neste caso. A solução encontrada é apresentada em corte na figura 155.

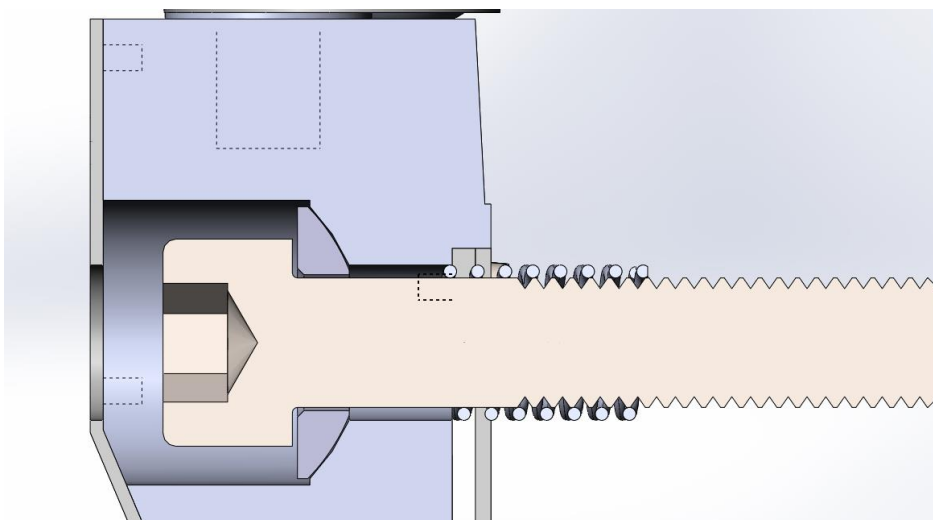


Figura 155 - Solução encontrada para o casquilho esférico - Suporte_5 - Mola de lâmina

Antes da utilização deste casquilho em aço inoxidável, encontrou-se outro da *IGUS – IGUBAL*, mas este não representava uma solução viável, pois apresentava maior diâmetro externo e não iria garantir a posição do parafuso, na sua posição correcta.

Outra modificação, necessária para evitar a queda dos parafusos do suporte na altura da sua desmontagem do intermediário, consiste na aplicação de uma placa de protecção, conforme se observa na figura 156.

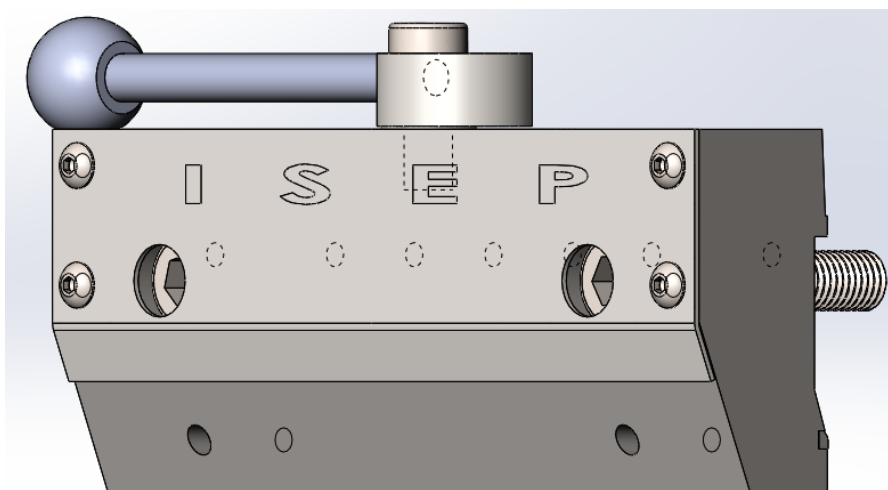


Figura 156 - Chapa de protecção - Suporte_5 - Mola de lâmina

Esta chapa é fixa por 4 parafusos segundo a norma ISO 7380, de tamanho M4*8.

A alteração mais relevante diz no entanto respeito à alavanca de fixação, que até ao momento ainda não tinha sido alvo de estudo aprofundado. Apenas tinha sido feito um projecto 3D de uma possível solução, mas no qual a alavanca tinha sido considerada apenas para efeitos de

posicionamento. Na figura 157 verifica-se que a alavanca foi modificada relativamente ao sistema de fixação da figura 54, no sentido de facilitar o seu aperto por parte do utilizador, na medida em que o ante braço não fica tão próximo do bícepe, o que resulta num menor esforço durante a operação.

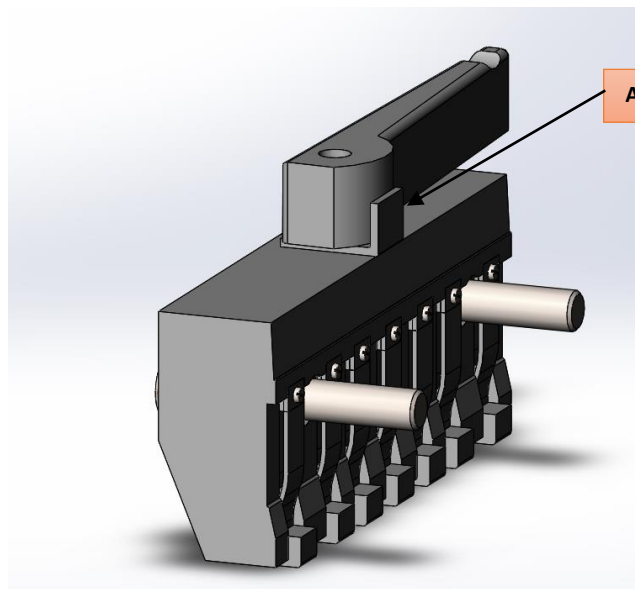


Figura 157 - Sistema de alavanca 1 - Suporte_5 - Mola de lâmina

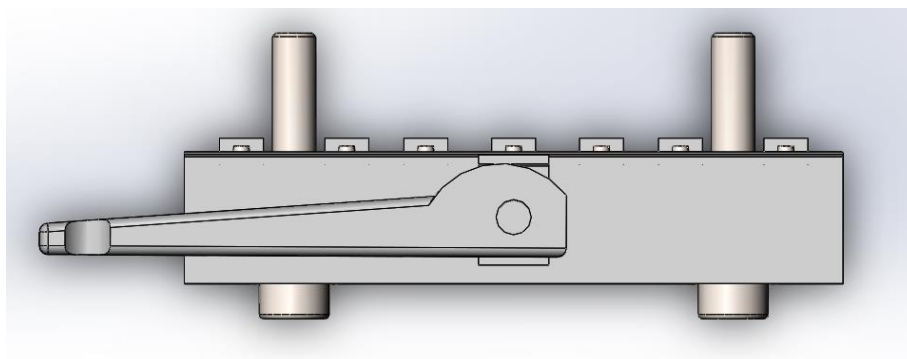


Figura 158 - Sistema de alavanca 1 - Suporte_5 - Mola de lâmina

Após análise da figura 158, verificou-se que a alavanca que tinha sido realizada para efeitos de posicionamento da mesma, não iria realizar o efeito desejado e necessário para o aperto do suporte. Mesmo utilizando a chapa referida como A na figura 157, esta não iria funcionar da maneira desejada.

Sendo assim, tentou-se encontrar uma solução que garantisse o aperto total de todo o suporte, utilizando 3 batentes para garantir essa mesma necessidade de aperto total do suporte em relação ao intermediário. Para garantir que se iria movimentar, pode-se ver na

figura 159 que seria colocada uma mola. Esta garantiria que depois da alavanca ser colocada na posição de repouso a chapa guia onde iria movimentar automaticamente o destravamento dos batentes. Esta solução mostrou-se pouco eficaz, pois seria muito difícil de maquinar as peças, e o suporte, que teria de ter mais superfícies maquinadas para garantir que este tipo de alavanca se pudesse adaptar facilmente ao suporte.

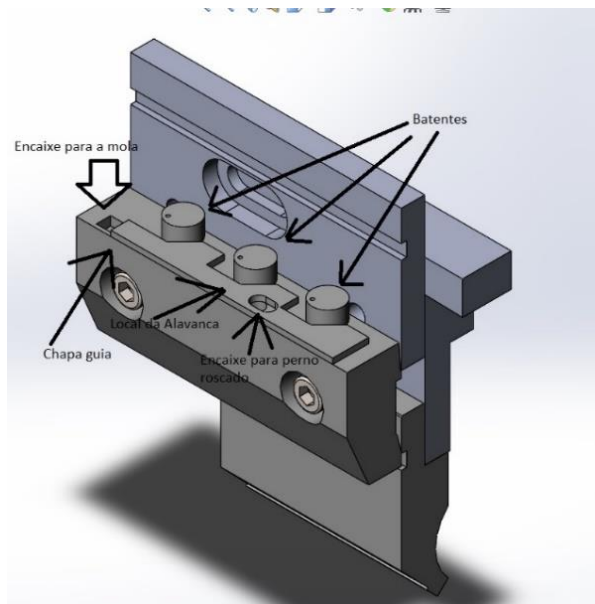


Figura 159 - Sistema de alavanca 2 - Suporte_5 - Mola de lâmina

Visto que esta solução se mostrou medíocre em relação à anterior, tentou-se seguir o mesmo sistema de alavanca 1, que apenas mostrava o posicionamento da mesma no sistema global.

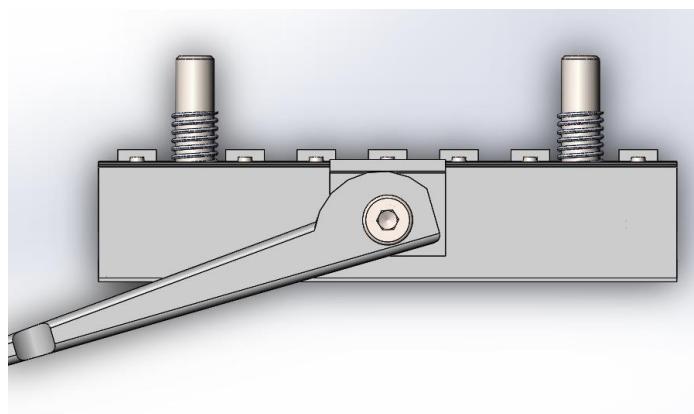


Figura 160 - Sistema de alavanca 3 - Suporte_5 - Mola de lâmina

Como mostra a figura 160, tentou-se aumentar o raio de curvatura no contacto da alavanca com a chapa de fixação ao intermediário. No entanto, esta hipótese não se mostrou viável pois, durante a operação de quinagem, a alavanca poderia destravar, devido ao seu ponto de raio de curvatura máxima estar muito próximo do centro do parafuso.

Esta hipótese foi descartada, tentando-se ir à procura de uma solução normalizada ou que usasse componentes normalizados, que permitisse o fácil fabrico do sistema e se tornasse mais económica.

Sendo assim, encontrou-se a solução apresentada na figura 161 e 162.

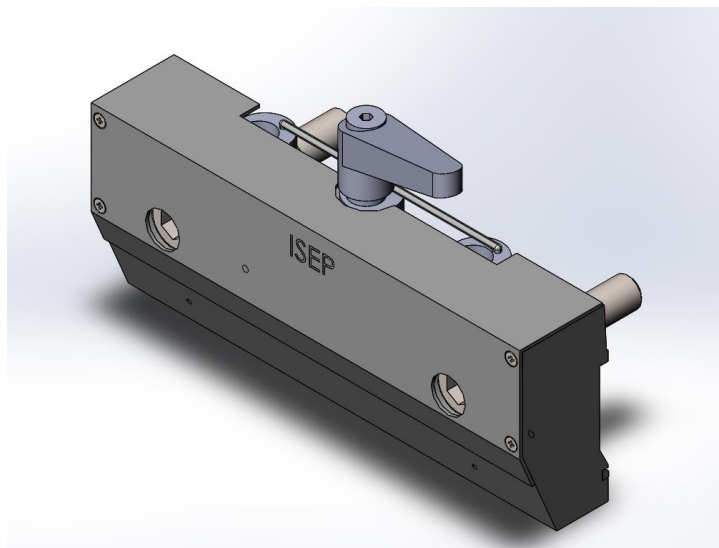


Figura 161 - Sistema de alavanca 4 - Suporte_5 - Mola de lâmina

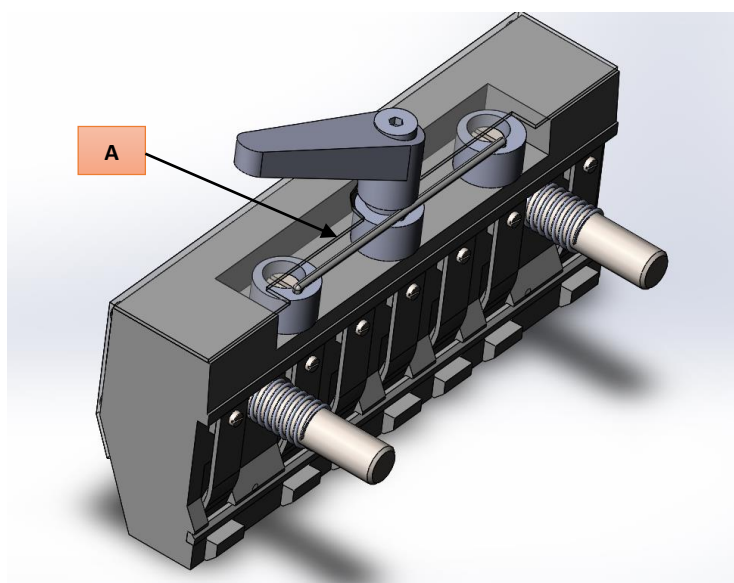


Figura 162 - Sistema de alavanca 4 - Suporte_5 - Mola de lâmina

Pela figura 162 constata-se que este sistema é bastante semelhante ao da figura 159, mas necessita de menos elementos. No entanto, a barra assinalada como A, representada na figura 163, apresenta um grau elevado de dificuldade de obtenção por maquinagem. Ao rodar a alavanca a barra iria movimentar os batentes, e estes iriam bater contra o intermediário e fixar o suporte.

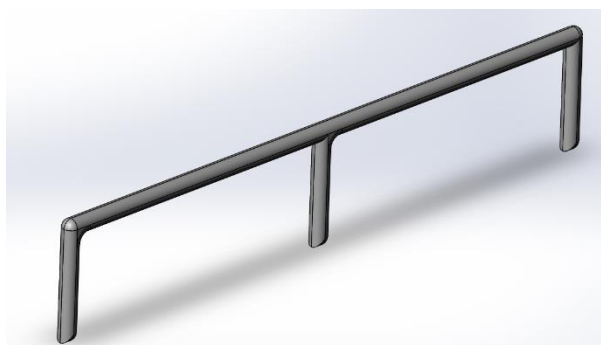


Figura 163 - Barra - elemento do sistema de alavanca 4 - Suporte_5 - Mola de lâmina

Com a análise realizada descartou-se então esta hipótese e passou-se a tentar encontrar uma solução viável e funcional para a solução da alavanca. Chegou-se à conclusão que seria melhor continuar a utilizar uma alavanca normalizada associada à utilização de um batente por maquinagem (figura 165). Após pesquisa detalhada, foi seleccionada uma alavanca que poderia ser adaptada facilmente por maquinagem (figura 166). O esquema de montagem é apresentado na figura 164.

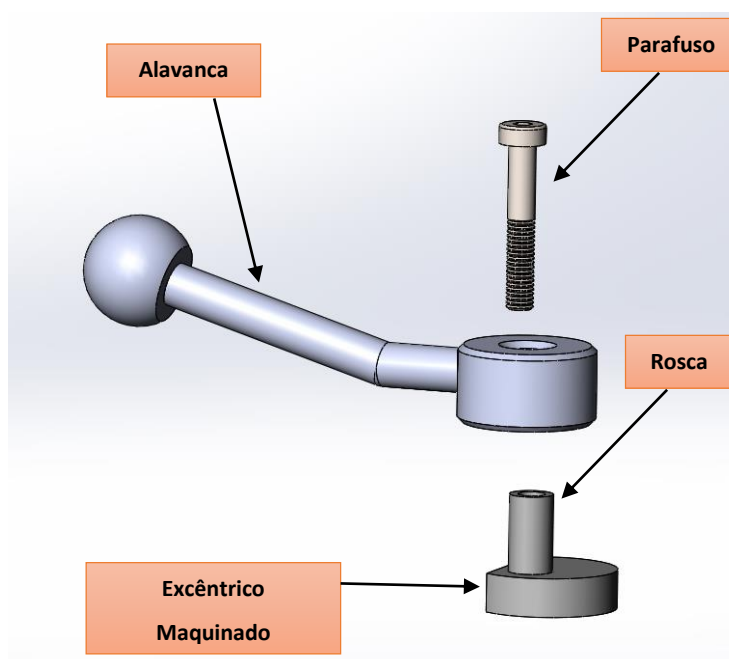


Figura 164 - Sistema de alavanca 5 - Suporte_5 - Mola de lâmina

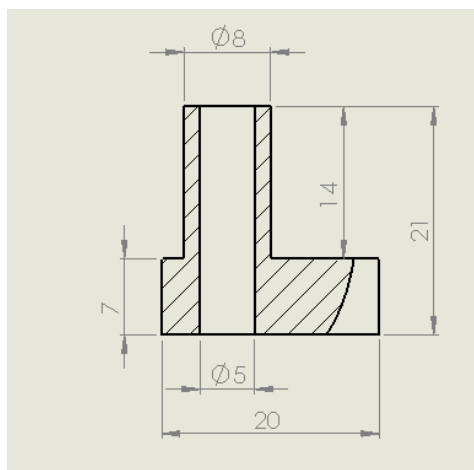


Figura 165 - Excêntrico - elemento do sistema de alavanca 5 - Suporte_5 - Mola de lâmina

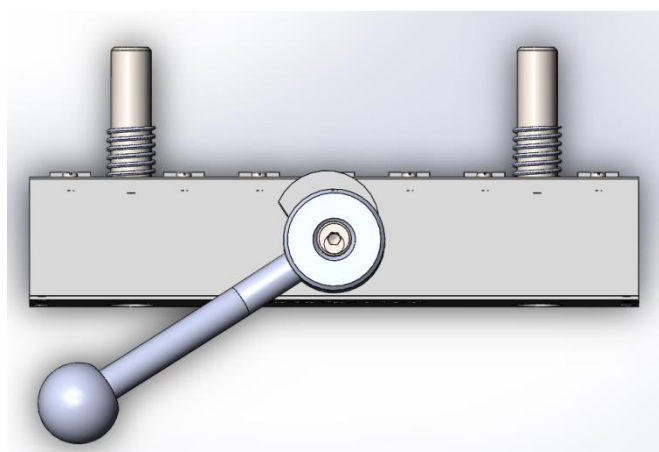


Figura 166 - Sistema de alavanca 5 montado no Suporte_5 - Mola de lâmina

O batente maquinado em forma de excêntrico terá um perno roscado, para fixar com a alavanca, pois esta também apresenta rosca no interior. O excêntrico teria de ser maquinado já com o perno roscado, mas esta solução dificultaria a maquinagem e conduziria a um elevado desperdício de material, pelo que se chegou à conclusão que o excêntrico teria de ser realizada em duas partes: o batente com rosca figura 167, e depois o perno roscado, para fixar ao batente e depois à alavanca, como mostrado na figura 168.

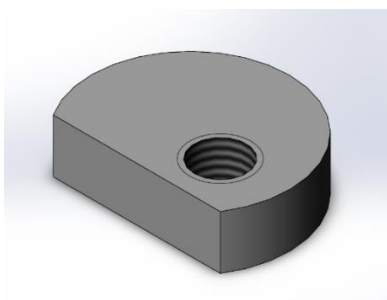


Figura 167 - Excêntrico - Sistema de alavanca 6 - Suporte_5 - Mola de lâmina

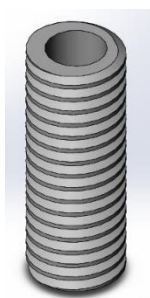


Figura 168 - Perno roscado - Sistema de alavanca 6 - Suporte_5 - Mola de lâmina

Este tipo de ligação não se mostrou viável porque durante o movimento da alavanca, mesmo com o parafuso a fixar as peças, esta poderia ter tendência a soltar-se e ganhar folga na ligação, não realizando a operação desejada. Ou seja, a alavanca rodaria, mas o batente ficaria preso contra o intermediário, ou não iria fixar. Na figura 169 e 170 é apresentado o desenho técnico da alavanca.

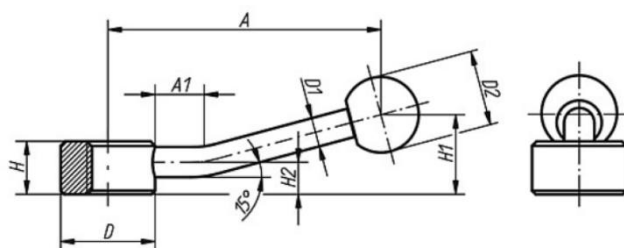


Figura 169 - Alavanca utilizada no sistema de alavanca 6 - Suporte_5 - Mola de lâmina
(Norelem)

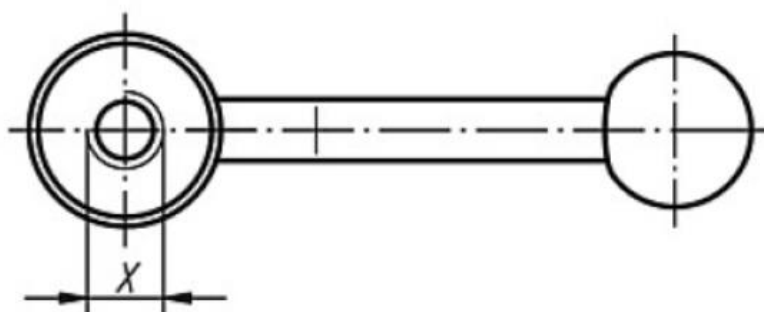


Figura 170 - Alavanca utilizada no sistema de alavanca 6 - Suporte_5 - Mola de lâmina
(Norelem)

Como a solução anterior apresentava algumas falhas, então decidiu-se encontrar uma alavanca, mas que possua um tipo de encaixe diferente da anterior, igualmente roscada para garantir que fica sempre fixa ao excêntrico. Para contornar a limitação da solução anterior, considerou-se o aperto da alavanca pela face lisa do excêntrico, o que também traz vantagens ao nível de fabrico, e poder-se-ia utilizar o excêntrico já antes dimensionado. Na figura 171 é apresentado o excêntrico, agora com a rosca para a alavanca, e com o furo anterior, liso (que na solução anterior era roscado), para minimizar o desgaste no contacto entre o parafuso e o batente.

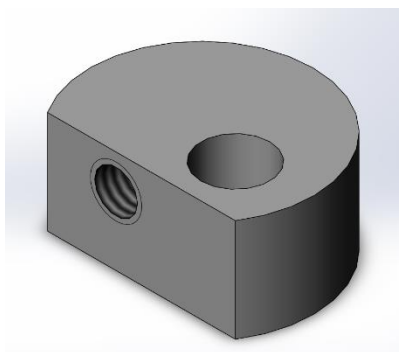


Figura 171 - Excêntrico - Sistema de alavanca 7 - Suporte_5 - Mola de lâmina

Na figura 172 observa-se o esquema de montagem da alavanca e como esta irá ser montada no sistema de fixação de punções para a quinadora. Ainda foi colocada uma anilha em *PTFE* (marca comercial *TEFLON®*) para garantir que o batente e o suporte não estariam em contacto directo durante o seu funcionamento (figura 173). Assim, é minimizado o atrito e o desgaste no contacto.

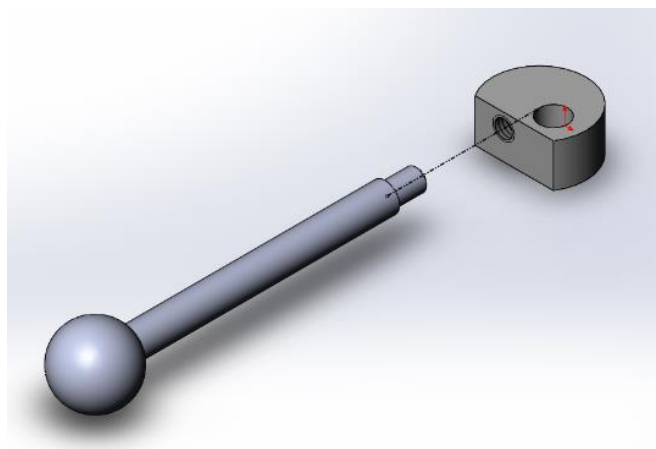


Figura 172 - Sistema de alavanca 7 - Suporte_5 - Mola de lâmina

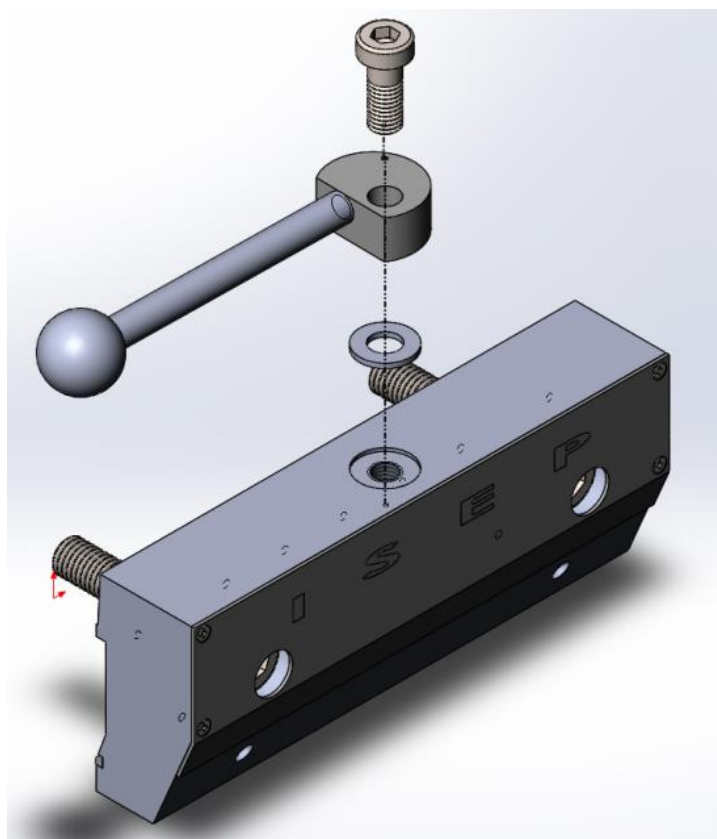


Figura 173 - Montagem de todos os elementos do sistema de alavanca 7 no Suporte_5 - Mola de lâmina

Atendendo à função da alavanca, prevê-se que haja solicitação cíclica na mesma, a qual vai ficar penalizada se geometricamente não forem tidos os cuidados necessários na transição entre a parte roscada e a parte lisa da alavanca. Assim, foi tomado particular cuidado com a geometria de transição entre a rosca e a parte lisa evitando concentração de tensões no local, que poderiam ser prejudiciais em termos de fadiga.

Com o sistema de fixação de mola de lâmina devidamente alterado e otimizado, iniciou-se a optimização do outro sistema de fixação utilizando unicamente molas helicoidais. Os principais pontos definidos de optimização na solução de mola de lâmina são os mesmos a ser aplicados na solução de mola helicoidal, como se poderá constar agora em diante, em que algumas alterações são as mesmas.

Uma das alterações realizadas foi a alteração das concavidades de alojamento da mola helicoidal, em que seriam rectas (figura 174), o que tornaria o processo de maquinaria mais demorado e dispendioso. A solução definida passa pela introdução de uma curvatura nos cantos rectilíneos, como é apresentado na figura 175.



Figura 174 - Suporte_5 - Mola Helicoidal

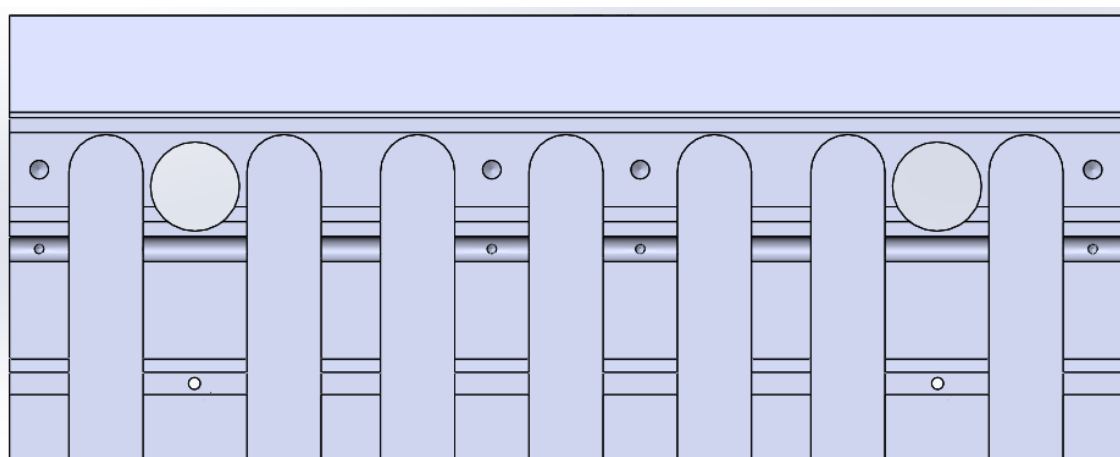


Figura 175 - Suporte_5 - Mola Helicoidal - Suporte rectificado

Outra alteração aplicada ao suporte seria no ponto 1 da figura 176, relativo ao aperto do apoio do punção, que inicialmente poderia ser bastante frágil após maquinagem, porque apresenta uma espessura fina. Esta poderia danificar-se rapidamente no alojamento do apoio do punção do suporte, ou mesmo partir durante o seu processo de fabrico.

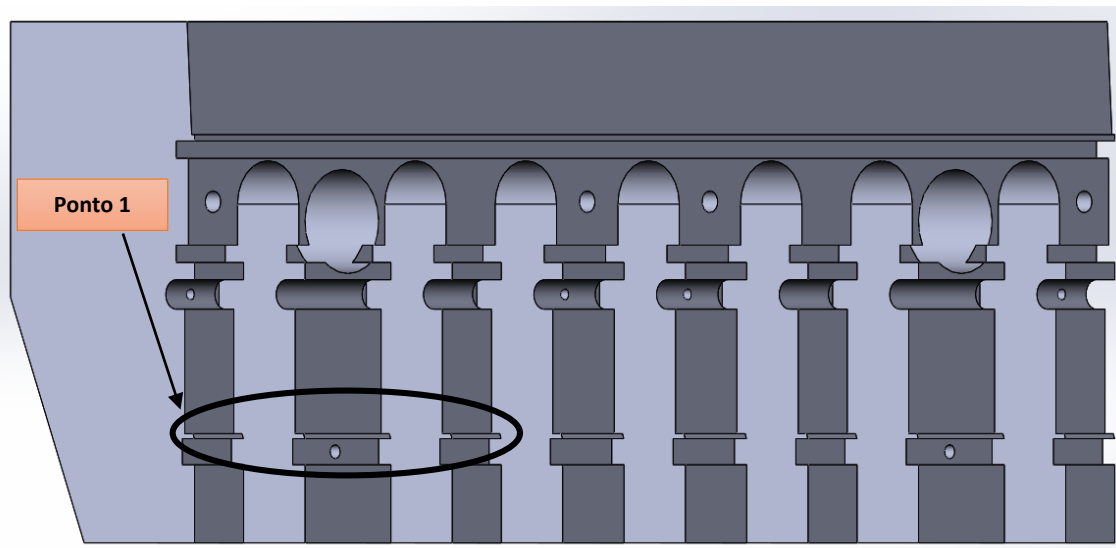


Figura 176 - Ponto crítico de concepção do Suporte_5 - Mola helicoidal

Para solucionar este problema, equacionou-se a solução apresentada na figura 177, que consiste no aumento localizado de espessura nas zonas críticas.

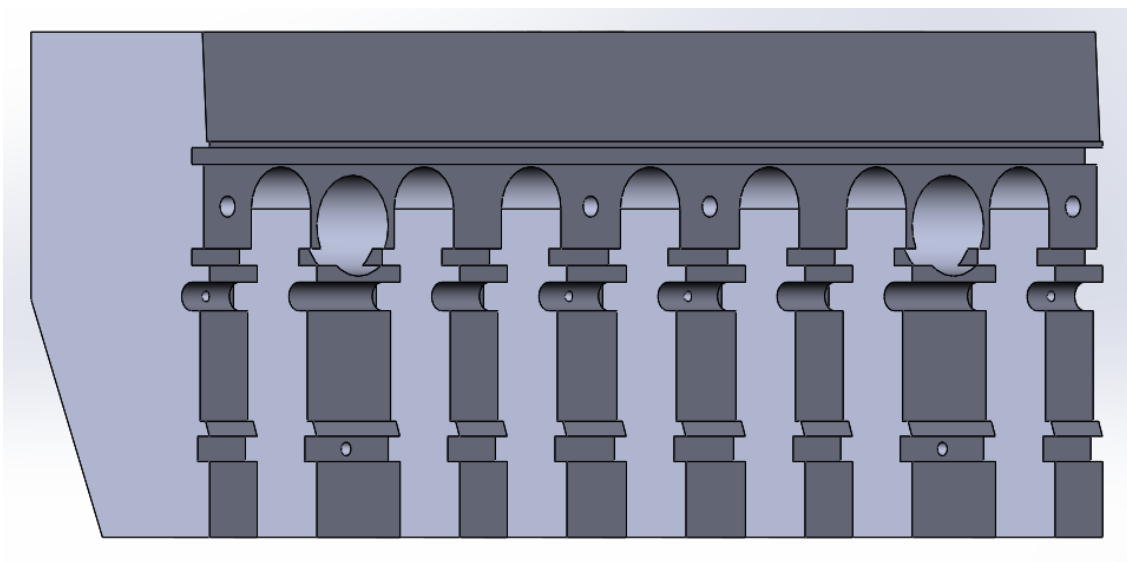


Figura 177 - Suporte_5 - Mola helicoidal

A figura 178 permite a comparação entre o sistema anterior e o actual.

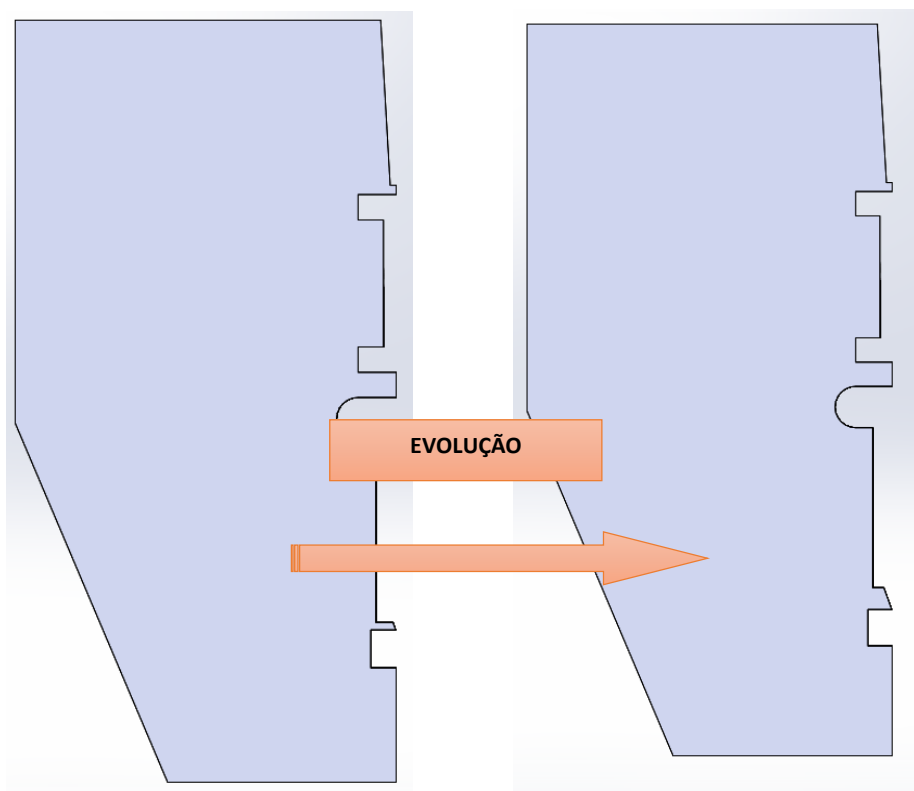


Figura 178 - Evolução do ponto crítico de maquinagem

Para garantir que os punções ficariam em qualquer dos pontos do suporte com a força uniformemente distribuída, foi aplicado o apoio do suporte do punção, tal como foi adicionado no suporte de mola de lâmina (figura 179). Com a aplicação de este apoio, o dente de engate no punção teria de apresentar uma geometria diferente, conforme se pode analisar nas figuras 180 e 181.

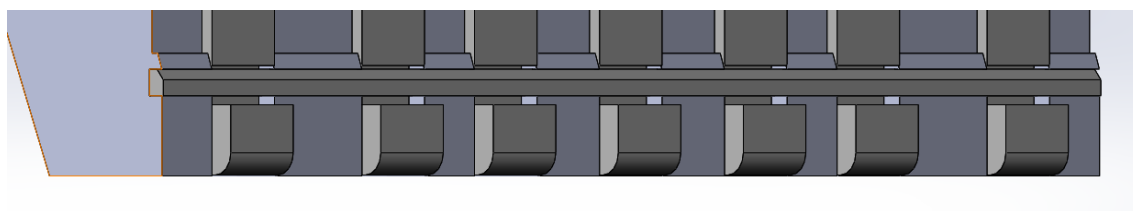


Figura 179 - Apoio de fixação do punção - Suporte_5 - Mola helicoidal

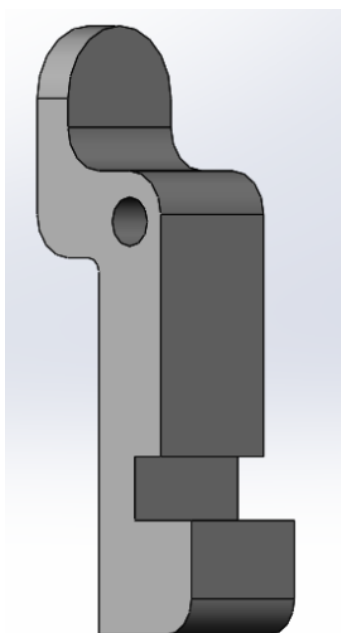


Figura 180 - Dente de engate no *Safety Tang* do punção - Suporte_5 - Mola helicoidal

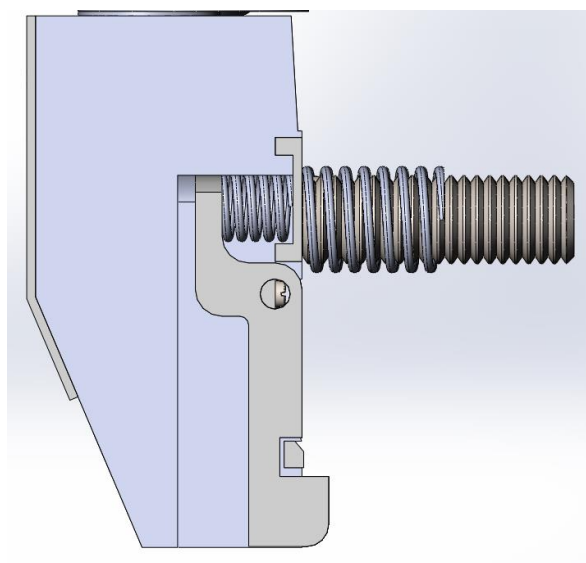


Figura 181 - Vista em corte do sistema do dente de engate no *Safety Tang* do punção - Suporte_5 - Mola helicoidal

Ainda relativamente à mola esta teve de ser alterada, no seu ponto superior de modo a que conseguisse ajustar-se na sua posição que sejam evitados contactos com as concavidades do suporte. Na figura 182 poderá visualizar-se esta alteração.

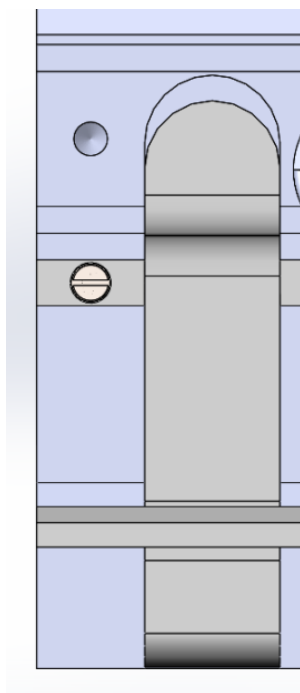


Figura 182 - Dente de engate no *Safety Tang* do punção - Suporte_5 - Mola helicoidal

Também se considerou ser necessária a revisão do veio de apoio dos dentes de engate do *Safety Tang*, pois este apresentava grandes custos de maquinagem e dificuldade acrescida de fabrico pois terá de se utilizar maquinagem a laser ou por electro-erosão, como se pode compreender pela observação da figura 183 (ponto 1).

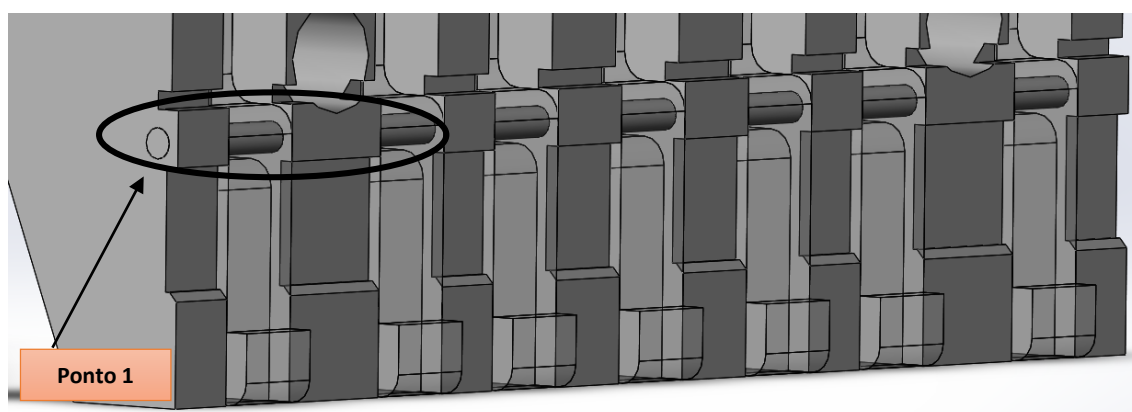


Figura 183 - Dificuldade de maquinagem no ponto 1 - Suporte_5 - Mola helicoidal

Para contornar este problema, decidiu-se fixar este veio por 4 parafusos que garantissem a sua imobilização na posição desejada, tal como mostra a figura 184.

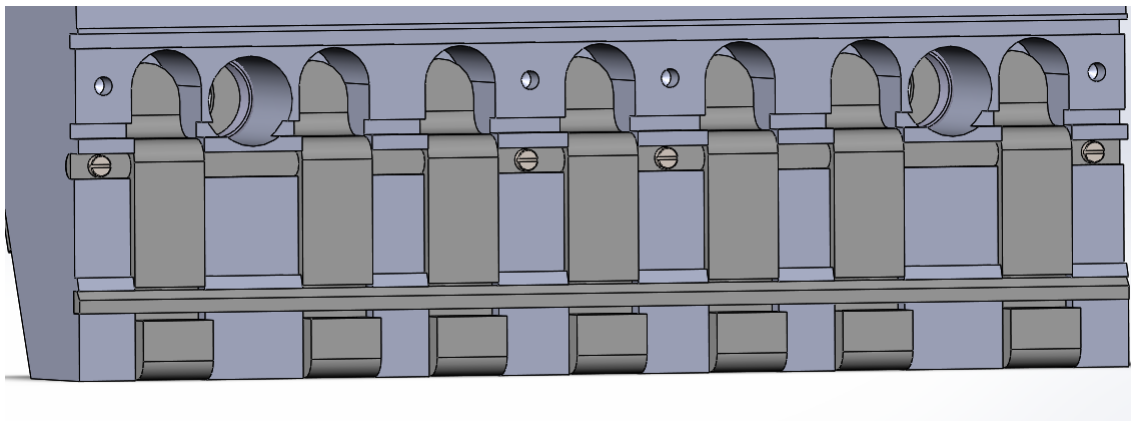


Figura 184 - Sistema de veio montado no Suporte_5 - Mola helicoidal

Deste modo os dentes permanecerão sempre na posição desejada. Outro ponto a ser revisto neste suporte diz respeito à protecção das molas, pois na solução Suporte_5, a chapa de protecção indicada como ponto 1 na figura 185, era fixa por pressão, o que não iria garantir que esta ficaria sempre imóvel na posição desejada porque a força que as 7 molas realizam é bastante elevada. Para isso utilizou-se uma solução idêntica à anteriormente referida, em que a chapa de protecção das molas fica fixa por 4 parafusos, que garantem a sua imobilização e não interferem no funcionamento e fixação do suporte, como se pode verificar na figura 186.

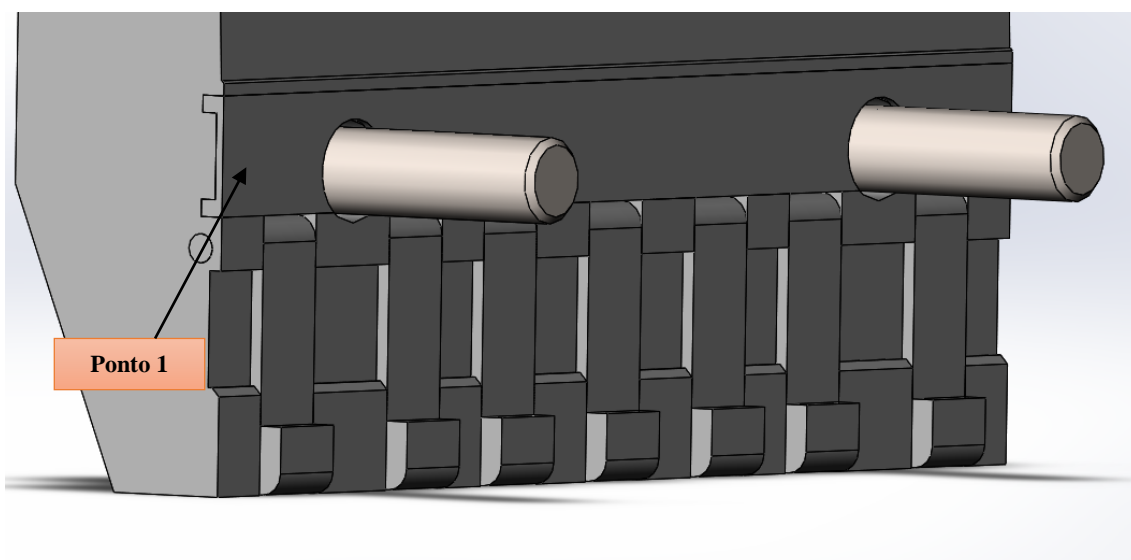


Figura 185 - Chapa de protecção das molas helicoidais - Suporte_5 - Mola helicoidal

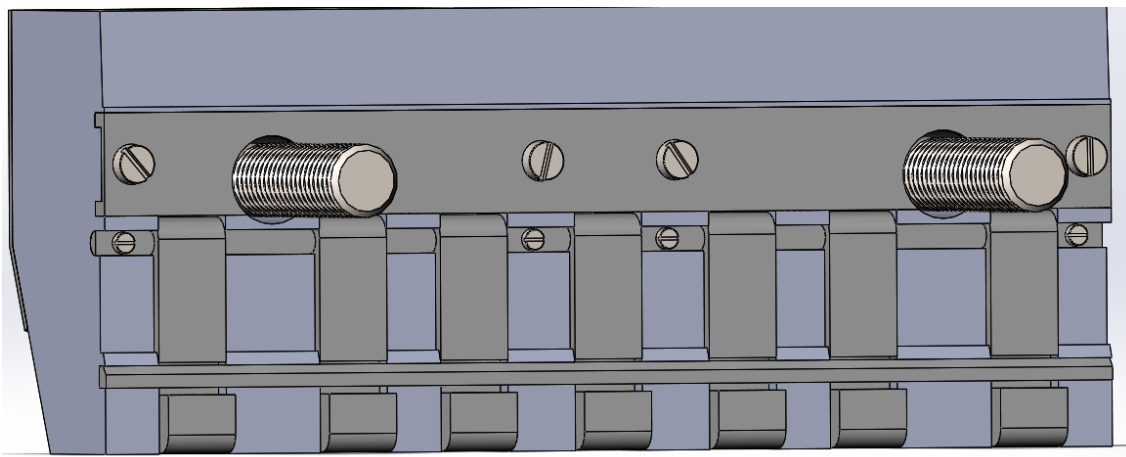


Figura 186 - Chapa de protecção das molas helicoidais fixa por quatro parafusos - Suporte_5 -
Mola helicoidal

Quanto aos outros elementos rectificadados, utilizaram-se soluções idênticas às adoptadas no suporte de mola de lâmina, sempre que possíveis de aplicar neste sistema de fixação, tais como, alavanca, casquilhos que permitam a rotação do suporte e ainda os parafusos que permitem a posição desejada do apoio do punção, que garante a aplicação uniforme da força de aperto. Nas figuras 187, 188 e 189 é apresentado o sistema completo, ou seja, com todos os seus elementos acopolados.

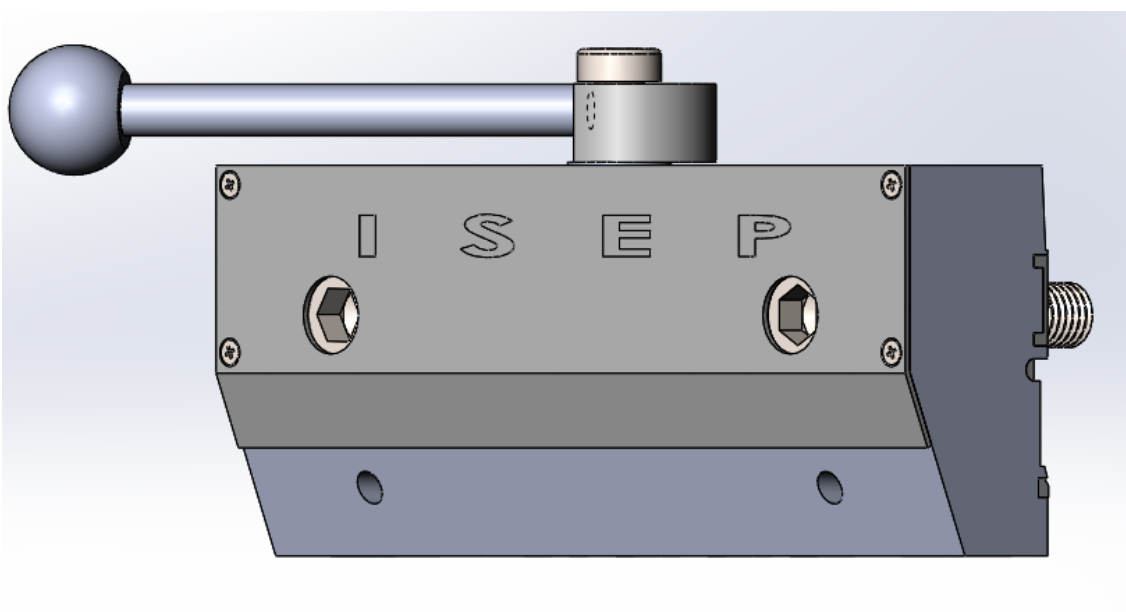


Figura 187 - Suporte_5 - Mola helicoidal

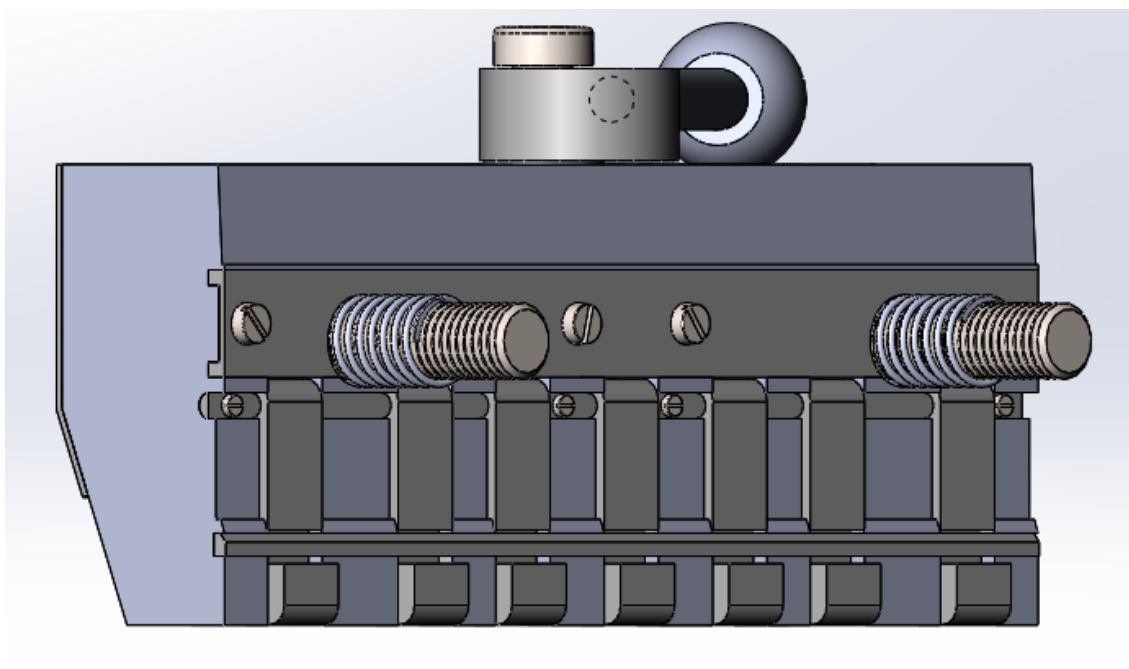


Figura 188 - Suporte_5 - Mola helicoidal

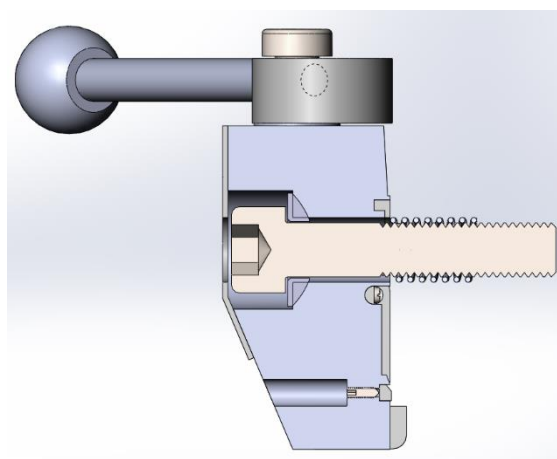


Figura 189 - Suporte_5 - Mola helicoidal - vista em corte do sistema de inclinação

Na tabela 7 é apresentada uma comparação entre os sistemas de fixação que foram otimizados após a definição dos sistemas que seriam as possíveis soluções finais

Tabela 7 - Comparação Entre os Sistemas de Fixação Otimizados

	Suporte_5 Mola de Lâmina	Suporte_5 Mola Helicoidal
Maquinagem	Fácil	Mediana

Custos	Baixos	Médios
Funcionamento	Cumpre	Cumpre
Capacidade de Aguentar o Peso do Punção	Suporta	Suporta

Como se pode verificar na tabela 7 os sistemas de fixação apresentam-se em pé de igualdade relativamente ao seu funcionamento, mas o sistema de fixação denominado Suporte_5 Mola de Lâmina apresenta fácil maquinagem e custos reduzidos em relação ao seu concorrente directo. Sendo assim este sistema de fixação é o sistema a ter em conta para projecto final.

3.5. Projecto final do sistema de fixação

Com as duas soluções já optimizadas e devidamente alteradas, definiu-se então qual seria a melhor opção para o mercado e também a mais inovadora, sendo a solução que utiliza mola de lâmina, suporte_5.3. Nas figuras 190, 191 e 192 são apresentadas as vistas explodidas com os elementos que compõem o sistema de fixação para punções. Na figura 190 são apresentados os elementos que constituem o sistema, sendo eles os parafusos, juntamente com os casquilhos que vão permitir a rotação do suporte, a chapa de protecção para os mesmo não saírem, os parafusos de aperto da chapa e os que definem a posição do apoio do punção, que garante o aperto total do mesmo.

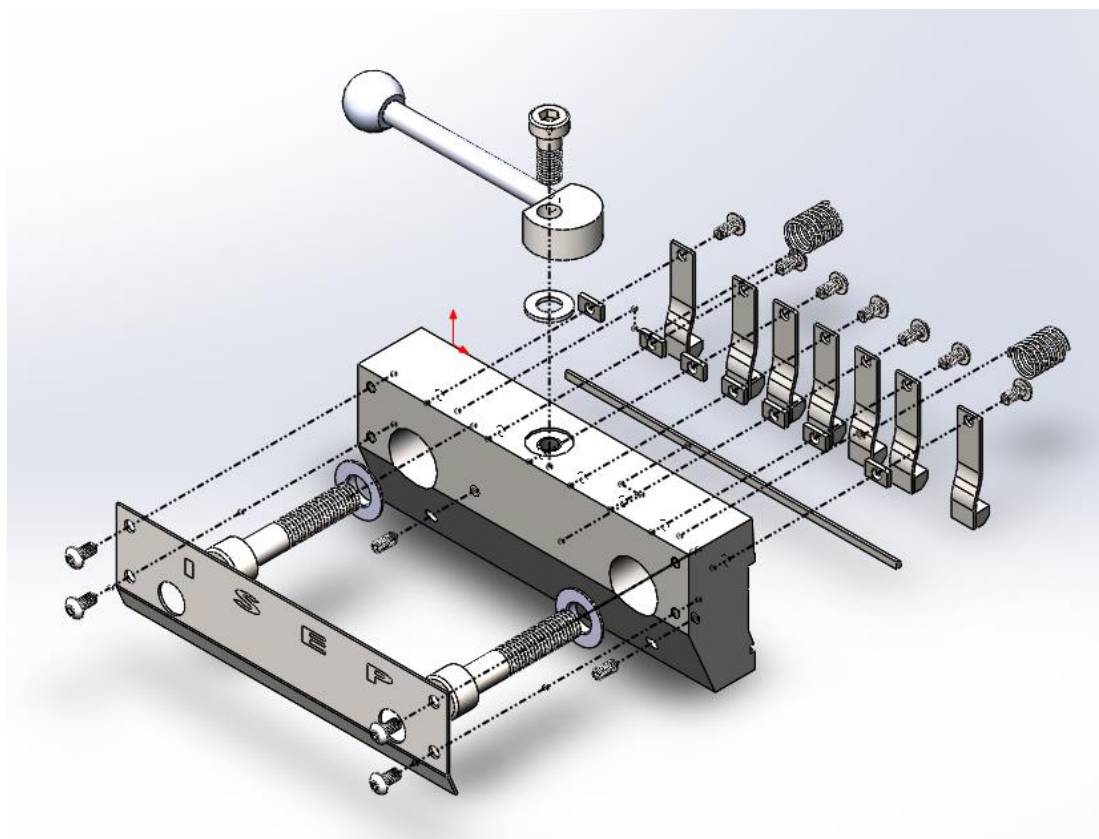


Figura 190 - Vista explodida do Suporte_5 - Mola de lâmina

Na figura 191 são exibidos os elementos que irão fixar o punção, entre o suporte e o intermediário, sendo eles as molas de chapa, com o linguete de engate no *Safety Tang* do punção e o devido apoio para o intermediário, para as molas poderem ter espaço para o seu movimento para engate e desengate do punção. Também é apresentado o apoio do punção, que garante a fixação uniforme ao longo de todo o suporte e os elementos que constituem a alavanca de aperto. E, por fim, mas não menos importante, as molas helicoidais, que irão empurrar o suporte até à inclinação definida pelo mesmo, na sua face interior superior, quando este não está apertado, garantindo assim uma maior facilidade no engate e desengate rápido do punção.

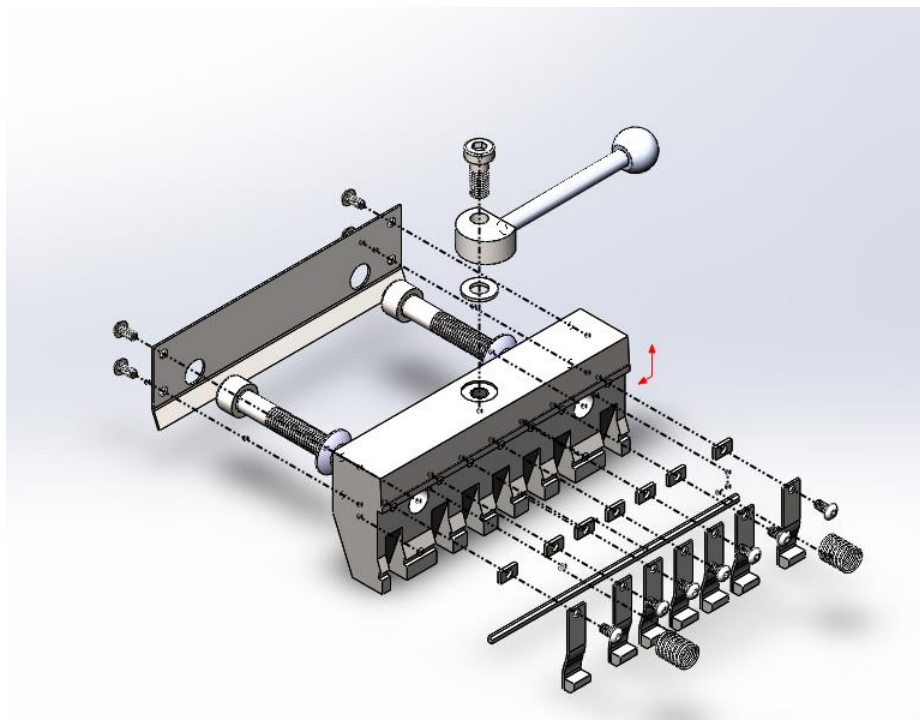


Figura 191 - Vista explodida do Suporte_5 - Mola de lâmina

Na figura 192 é apresentada a mesma vista explodida da figura 190, mas esta agora conta com a indicação do número dos itens/elementos que constituem o sistema de fixação. Para uma melhor definição dos elementos utilizados, consultar o sub-capítulo 3.6, denominado Lista de Peças e Componentes Utilizados.

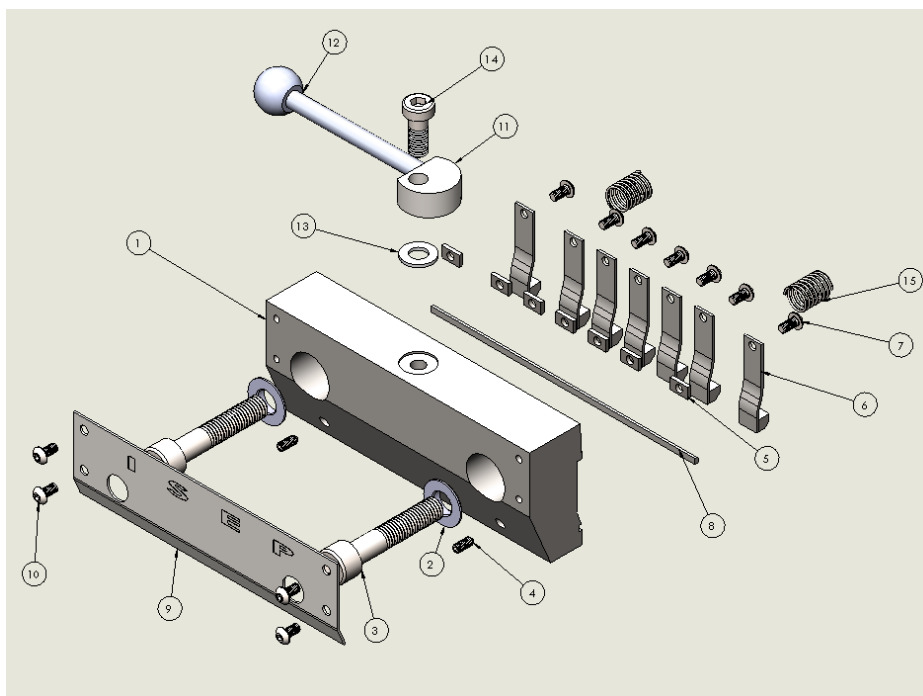


Figura 192 - Vista explodida do Suporte_5 – Mola de lâmina - Numeração dos diversos elementos para clara identificação

Com a vista explodida, onde são apresentados todos os elementos de fixação, é agora necessário proceder à definição do sistema funcional, ou seja, explicar como ocorre a operação de engate, aperto e desengate do punção no suporte, juntamente com o intermediário.

3.5.1. Funcionamento do sistema de fixação

Nas próximas figuras irá ser explicado como se procede a esta operação, à semelhança do que já foi explicado anteriormente, no sub-capítulo 3.2-Situação Inicial, correspondente ao funcionamento do sistema de fixação da TEDA.

Na figura 193, como está representado, a alavanca terá de estar aberta e o suporte inclinado, devido ao efeito das molas helicoidais, que estão sempre comprimidas. O punção entra de baixo para cima, como indica a seta representada, aproximando-se do linguete soldado à mola de lâmina.

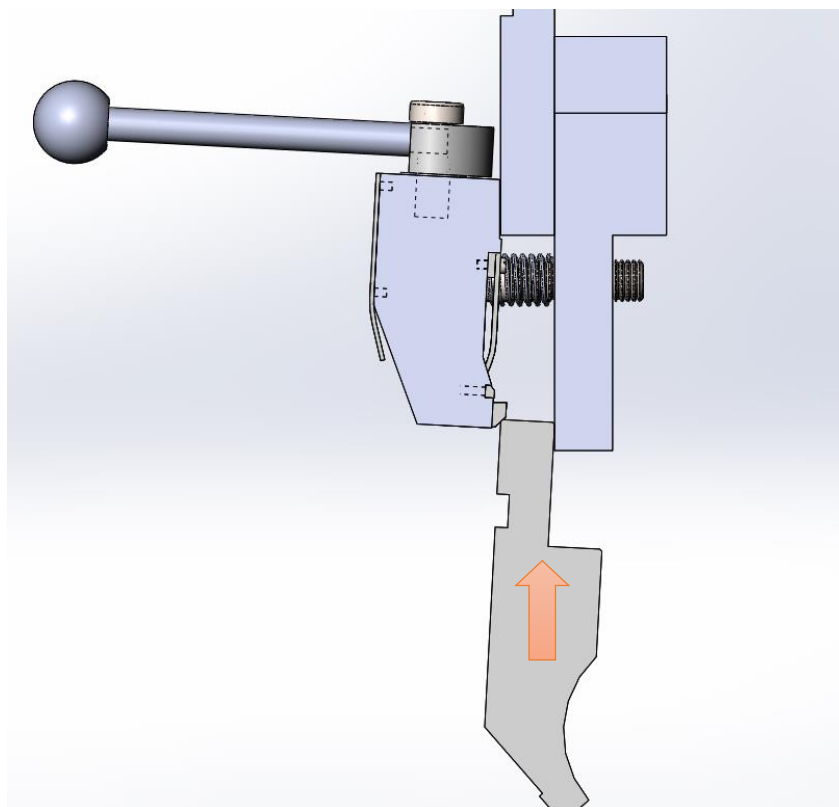


Figura 193 - Entrada do punção no Suporte_5 - Mola de lâmina

Na figura 194, na sequência da figura anterior, o punção deverá seguir a mesma trajetória, o que irá provocar o movimento na mola, deslocando-a no sentido representado pela seta, que está fixa por um parafuso e apoiada na devida posição, criando assim um maior momento de rotação da mola de lâmina, facilitando a entrada e saída do punção.

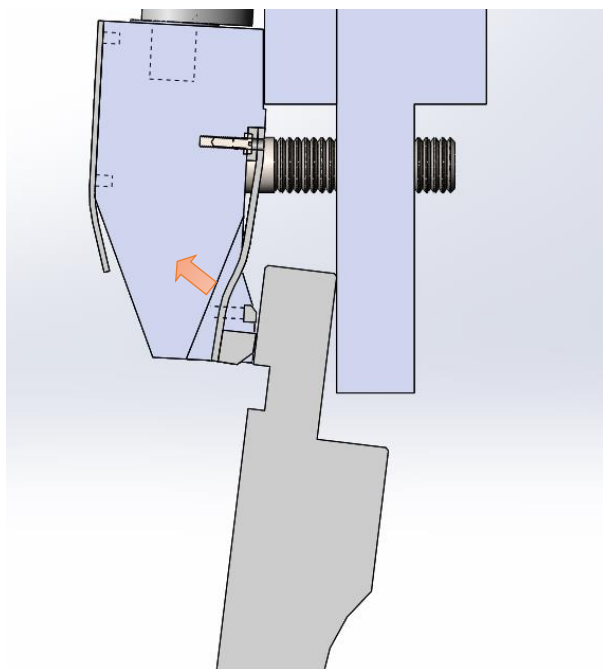


Figura 194 - Movimento da mola na entrada do suporte_5 - Mola de lâmina

Na figura 195 é representada a sequência do momento anterior, em que a mola irá voltar à sua posição inicial. Nesta altura, o punção deverá estar ainda nas mãos do operador. O movimento da mola é quase instantâneo. Esta figura serve apenas para exemplificar a sequência de movimentos para fixação do punção.

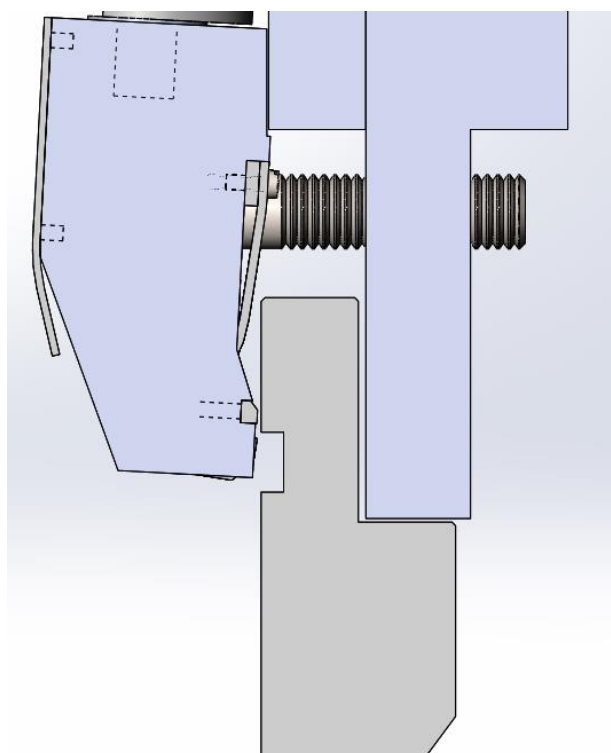


Figura 195 - Posição do punção antes do dente engatar no *Safety Tang* do punção - Suporte_5 -
Mola de lâmina

Com a mola na sua posição, o punção pode agora ser largado pelo operador, ficando apoiado no linguete, como representa a figura 196. Agora, o punção e suporte estão prontos para o operador, quando assim o desejar, finalizar a colocação de todos os punções necessários para a quinagem e apertar a alavanca, fixando-os.

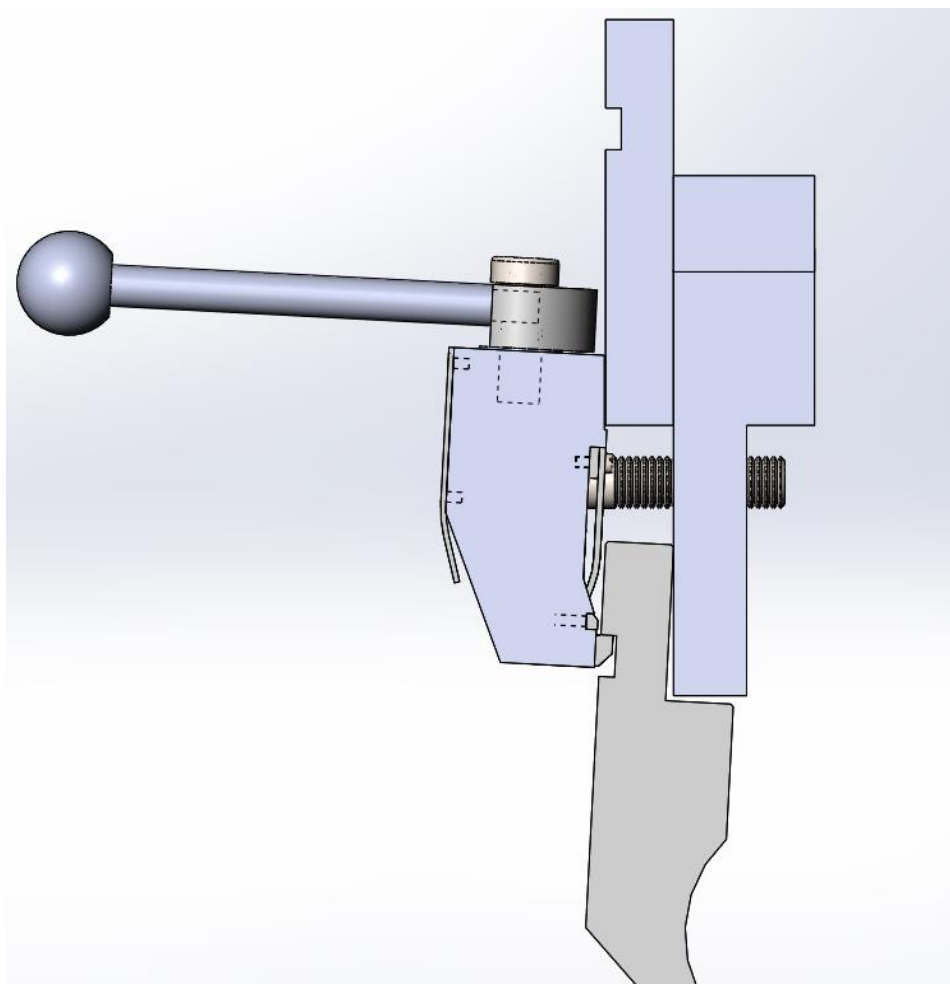


Figura 196 - Punção apoiado no Suporte_5 - Mola de lâmina

Para o operador fixar o punção ao suporte, é necessário empurrar a alavanca contra o suporte, de forma a que o punção seja puxado, em que o suporte realiza todo o ajuste do mesmo, ficando justo entre o suporte e o intermediário como é comprovado na figura 197. Nessa mesma figura, a seta indica o apoio do punção que garante a sua fixação total e uniforme. Resumindo, este apoio é uma das peças que, para além da alavanca, garante que o suporte fica totalmente fixo.

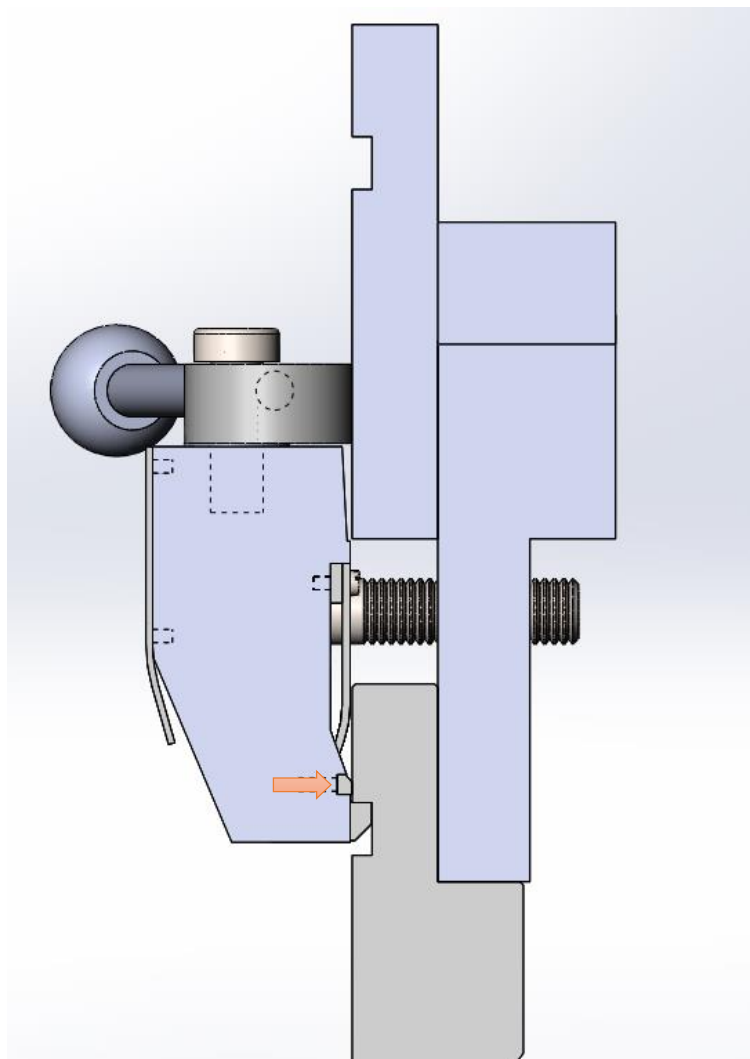


Figura 197 - Suporte_5 - Mola de lâmina - travado e punção completamente fixo

Após a operação de quinagem e abertura da alavanca no sentido do afastamento do suporte, é agora necessário proceder à retirada do punção. O suporte, accionado pelas molas helicoidais, inclina-se e o punção ficará apoiado nos linguetes das molas de lâmina. Para retirar o punção é necessário realizar o movimento da seta da figura 198, em que se inclina a parte inferior do punção em direcção ao intermediário.

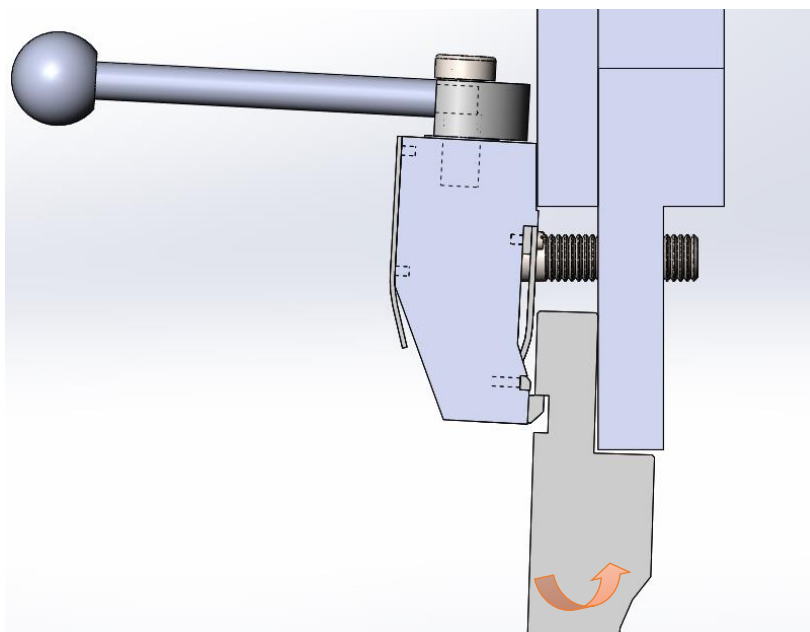


Figura 198 - Movimento para retirada do punção do Suporte_5 - Mola de lâmina

Com a realização do movimento da figura anterior, a aba superior do punção empurra a mola, libertando assim o linguete do *Safety Tang* do punção. No movimento a seguir, o punção deverá ser puxado imediatamente para baixo, garantindo assim a sua fuga do suporte (figura 199).

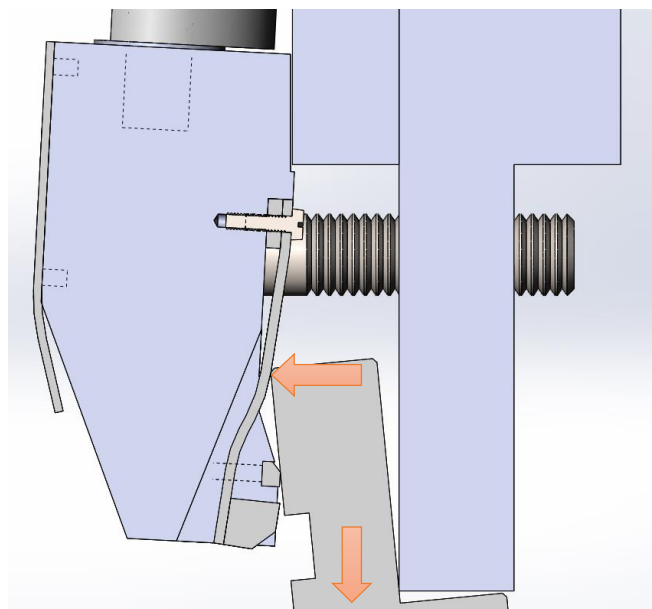


Figura 199 - Zona de contacto e movimento de descida do punção, para ser retirado do Suporte_5 - Mola de lâmina

O movimento descendente deverá ser contínuo, até o punção estar completamente fora do suporte como representa a figura 200.

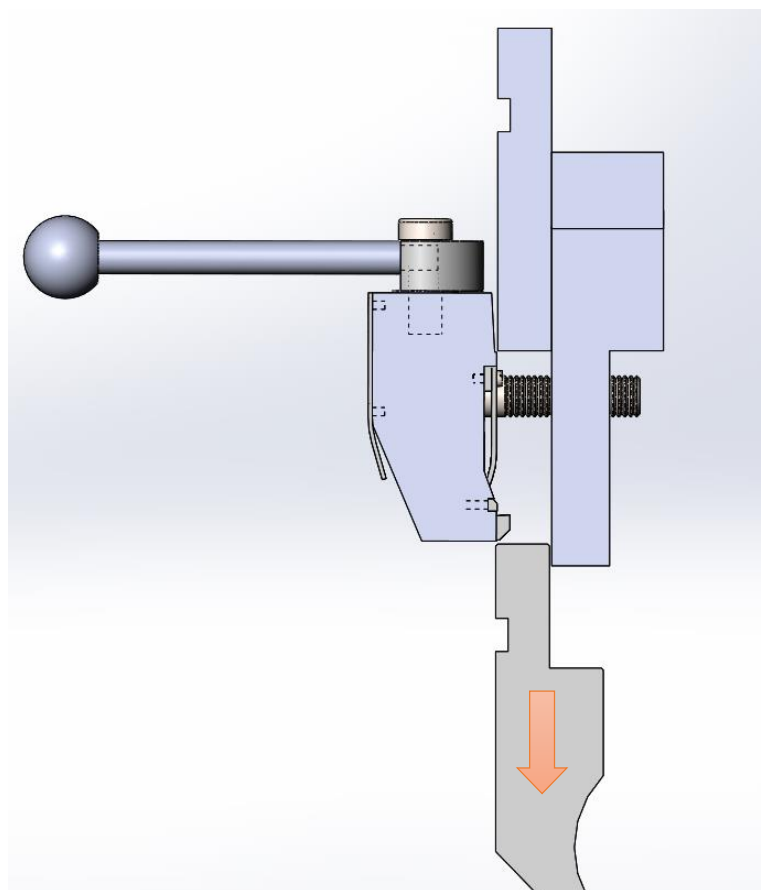


Figura 200 - Movimento final de retirada do punção do Suporte_5 - Mola de lâmina

Com a apresentação do sistema funcional, foi então necessário prever as solicitações a que o sistema de fixação irá estar sujeito durante o seu ciclo de vida útil. Para isso, foi realizada a tabela 8, em que foram definidas as solicitações mecânicas apenas para os elementos que teriam de ser fabricados, ou seja, não normalizados. Os elementos normalizados não foram contabilizados no que toca ao dimensionamento, pois já foram selecionados tendo em conta as solicitações a que iriam ser sujeitos.

Tabela 8 – Requisitos exigidos

Requisitos exigidos											
Item	Elemento	Tracção	Compressão	Torção	Corte	Flexão	Desgaste	Fadiga	Fissuração	Corrosão	Rigidez
1	Suporte	-	+	-	-	-	+	-	+	+	+
2	Casquilho	-	+	-	-		+	-	-	+	+
3	Parafuso M10*50	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+
4	Parafuso M4*10	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+
5	Apoio Mola de Lâmina	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-
6	Mola de Lâmina	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
7	Parafuso M4*8	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+
8	Apoio Suporte Punção	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+
9	Chapa de Protecção	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-
10	Parafuso M4*8	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+

11	Excêntrico	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+
12	Alavanca	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
13	Casquilho	-	+	-	-		+	-	-	+	+
14	Parafuso M8*20	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+
15	Mola Helicoidal	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+

Legenda:

- +: Solicitação necessária para selecção de materiais;
- -: Solicitação não necessária para selecção de materiais.

3.5.2. Selecção de materiais e respectivos tratamentos

Para a realização da selecção de materiais, para os diferentes componentes, foi utilizada a metodologia segundo *Michael Ashby*, utilizando o livro *Materials Selection in Mechanical Design*, 2005.

3.5.2.1. Suporte

Consultando a tabela 5 dos requisitos exigidos para o suporte, verifica-se que as propriedades mais importantes serão:

- Elevada dureza;
- Elevada tenacidade à fractura;
- Alta resistência à corrosão;
- Elevada tensão de cedência.

Destas 4 propriedades, a que se considera com maior importância, é a dureza, porque este componente deverá resistir ao desgaste, deste modo, na tabela 9 é apresentada a

determinação dos índices de importância dos atributos atrás referenciados, definindo as percentagens de importância em relação à dureza.

Tabela 9 – Índice de importância dos atributos - suporte

	1-2	1-3	1-4	IMP.		%
Dureza	70	80	90	1.000	0.559	55.88%
Tenacidade à Fractura	30			0.429	0.239	23.95%
Resistência à Corrosão		20		0.250	0.140	13.97%
Tensão de Cedência			10	0.111	0.062	6.21%
			Soma	1.790	1.000	100.00%

Legenda:

- **1-2:** Comparação entre Dureza e Tenacidade à Fractura;
- **1-3:** Comparação entre Dureza e Resistência à Corrosão;
- **1-4:** Comparação entre Dureza e Tensão de Cedência;
- **IMP.** – Importância.

Com os índices de importância atribuídos iniciou-se a selecção de alguns materiais, para determinar qual seria o melhor para o suporte. Para isso, consultou-se o catálogo do F. Ramada, em que os materiais seleccionados seriam aqueles que apresentavam maiores durezas. A partir daí, preencheu-se a tabela 10 com os valores das propriedades dos materiais.

Tabela 10 – Propriedades - suporte

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.2767	280	25.3-29.2	4	1500
1.2080	270	18.3-21.5	4	1860-2290
1.2379	260	18.3-21.5	4	1860-2290
1.2510	240	19.3-22.1	4	1800-2140

Na tabela 11, é apresentada a ponderação das propriedades da tabela 10.

Tabela 11 – Propriedades ponderadas - suporte

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.2767	280	27.25	4	1500
1.2080	270	19.9	4	2075
1.2379	260	19.9	4	2075
1.2510	240	21	4	1970

Após as propriedades estarem devidamente ponderadas, seguiu-se então para a ponderação dos atributos, calculados através da tabela 11.

Tabela 12 – Ponderação dos atributos - suporte

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.2767	1.000	1.000	1.000	0.723
1.2080	0.964	0.730	1.000	1.000
1.2379	0.929	0.730	1.000	1.000
1.2510	0.857	0.771	1.000	0.949

Na tabela 13 é apresentada a tabela final, que relaciona a ponderação dos atributos com o índice de importância dos mesmos, uns relativos aos outros, calculados na tabela 9.

Tabela 13 – Tabela Final - suporte

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]	Σ	$\Sigma(x100)$	Posição
1.2767	0.56	0.24	0.14	0.04	0.98	98.28	1ºLugar
1.2080	0.54	0.17	0.14	0.06	0.92	91.55	2ºLugar
1.2379	0.52	0.17	0.14	0.06	0.90	89.55	3ºLugar
1.2510	0.48	0.18	0.14	0.06	0.86	86.21	4ºLugar

Analisando a tabela 13, o material a seleccionar será assim o 1.2767, que apresenta um maior índice de mérito. Após a devida selecção está agora disponível para iniciar a operação de maquinagem.

Após maquinagem a peça deverá ser tratada inicialmente por um recozido de distensão, que deve ser aplicado a peças difíceis de temperar ou que possam se deformar na têmpera. Após desbaste, as peças são submetidas a este tratamento, eliminando as tensões devidas a

trabalhos a frio, à maquinagem ou ao eventual desempenho. Estas tensões podem originar certas deformações ou mesmo a fracturas de têmpera. Nas peças submetidas a uma intensa maquinagem, que é o caso desta peça, deve ser aplicado um recozido de distensão, sendo prudentes para eliminar as tensões. A peça deverá ser colocada no forno durante meia a duas horas, a uma temperatura de 500 a 600 °C. Seguidamente, o arrefecimento deverá ser lento e no próprio forno. Em suma e para a peça indicada o recozido de distensão serve para eliminar tensões provenientes da maquinagem.

Esta peça necessitará de ser fosfatada no final, porque irá encontrar-se sujeita à corrosão, e através deste tratamento irá aumentar a sua resistência à corrosão.

3.5.2.2. Mola de lâmina

Antes de seleccionar os materiais é necessário também ter em conta quais as propriedades mais relevantes para poder fazer uma seleção dos mesmos. No caso dos aços mola, segundo Soares (1992) “AÇOS – Características Tratamentos”, as propriedades a ter em conta são:

- Limite de elasticidade à tracção, pois a mola irá trabalhar à tracção e compressão;
- A resistência à fadiga, para que as molas consigam resistir aos esforços repetitivos;
- Por fim, e não menos importante, a resistência à tracção.

Como se pretendia resistência à corrosão, só se seleccionou materiais inoxidáveis. Caso seja seleccionado algum material aço ao carbono, este poderá ser arrefecido em óleo, o que aumentará consideravelmente a sua resistência à corrosão. Considerou-se ainda a dureza porque a mola irá sofrer contactos de compressão e deslizamento durante o seu funcionamento, estando assim sujeita a desgaste.

Segundo Ashby (2005), a escolha dos materiais para os aços mola, recorrendo aos diagramas de ASHBY, figuras 201 e 202, recai sobre aços de alta densidade, CFRP, ligas de titânio, poliamidas e elastómeros.

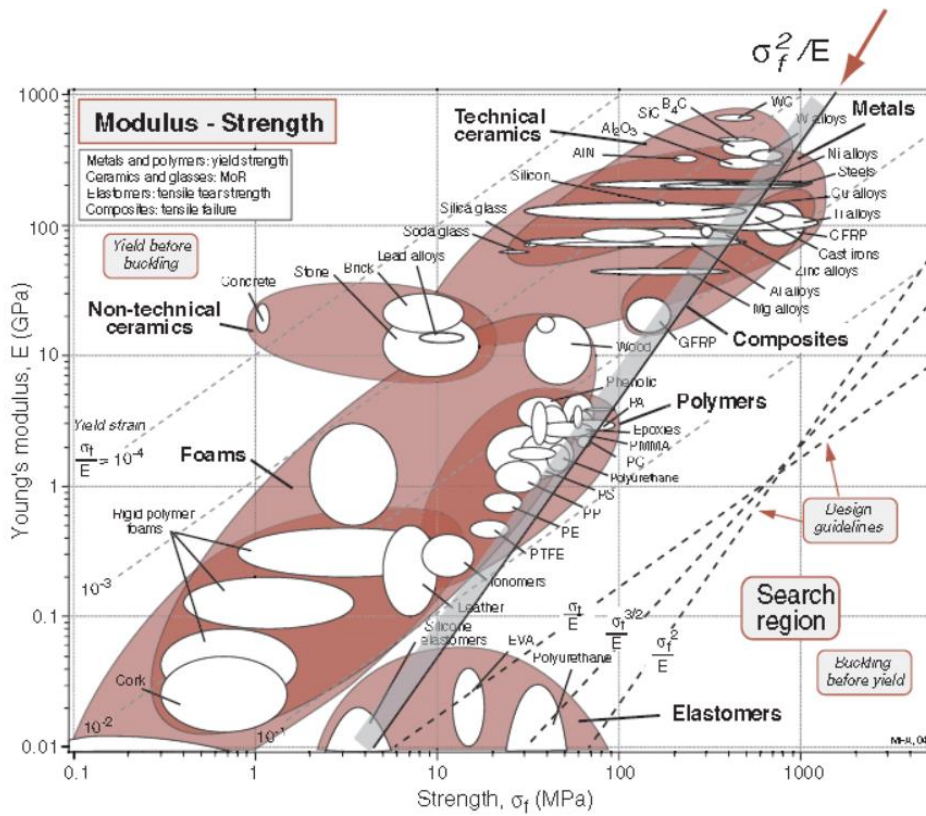


Figura 201 - Diagrama de Ashby para selecção de materiais de molas pequenas (Michael Ashby, 2005)

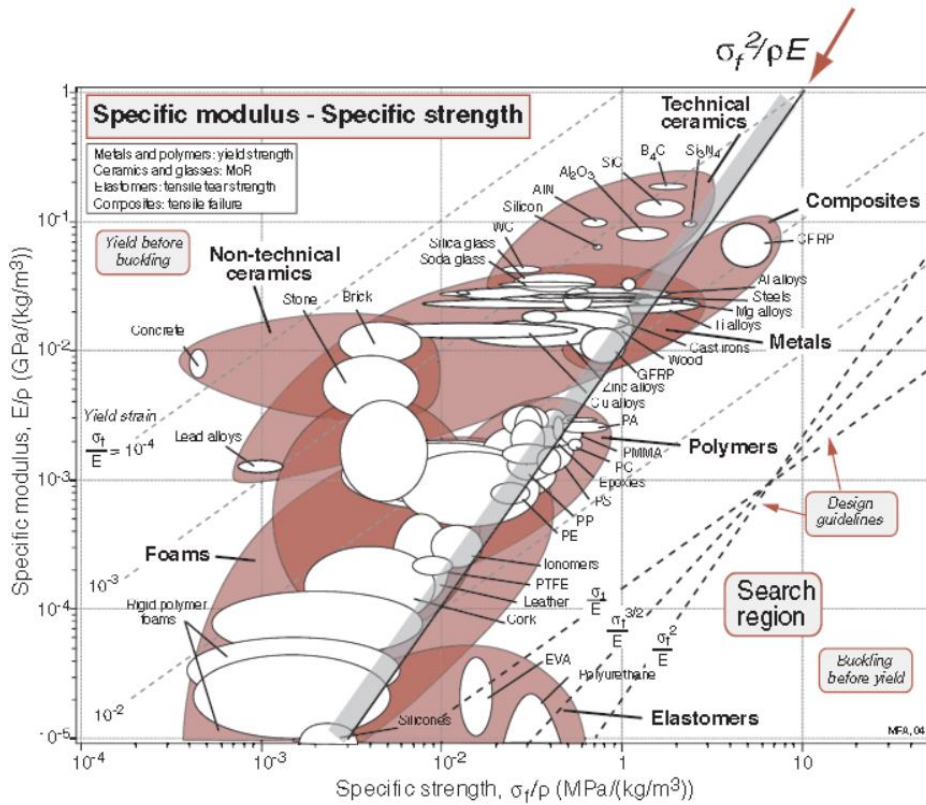


Figura 202 – Diagrama de Ashby para selecção de materiais de molas leves (Michael Ashby, 2005)

Deste modo, com as propriedades mais importantes seleccionadas, realizou-se a tabela 14, com os índices de mérito, o que consiste na definição das importâncias relativa das várias propriedades (Michael Ashby, 2005).

Tabela 14 – Índice de importância de atributos – mola de lâmina

	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	IMP.		%
Facilidade De Procura do Material	60	70	80	85	90	95	1.000	0.372	37.24%
Tensão de Cedência	40						0.667	0.248	24.83%
Tensão Limite de Fadiga		30					0.429	0.160	15.96%
Soldabilidade			20				0.250	0.093	9.31%
Tenacidade à Fractura				15			0.176	0.066	6.57%
Rm					10		0.111	0.041	4.14%
Dureza						5	0.053	0.020	1.96%
						Soma	2.685	1.000	100.00%

Legenda:

- **1-2:** Comparação entre Facilidade de Procura do Material e Tensão de Cedência;
- **1-3:** Comparação entre Facilidade de Procura do Material e Tensão Limite de Fadiga;

- **1-4:** Comparação entre Facilidade de Procura do Material e Soldabilidade;
- **1-5:** Comparação entre Facilidade de Procura do Material e Tenacidade à Fractura;
- **1-6:** Comparação entre Facilidade de Procura do Material e Rm;
- **1-7:** Comparação entre Facilidade de Procura do Material e Dureza;
- **IMP.** – Importância.

Através do livro de Yamada Y., foram definidos os materiais para aços mola mais convenientes, onde o material 1.4310, 1.4401 e 1.4568, são os mais aconselhados. Para o material 1.4568, não foi possível obter a datasheet com todos os dados necessários. O aço ao carbono AISI 1095 também é aconselhado para este tipo de função. No catálogo da *Sandvik* para aços mola de lâmina, foi considerado o material com número mundial 1.4306. O fornecedor *Spring Steel Stock* também comercializa o material 1.4021. Este e o 1.4310 são os mais vendidos para molas. Na tabela 15 são apresentadas as propriedades quantificadas para cada um dos materiais.

Tabela 15 – Propriedades – mola de lâmina

Material	Facilidade de Procura do Material	Tensão de Cedência [Mpa]	Tensão Limite de Fadiga [Mpa] a 10^7 ciclos	Soldabilidade	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Rm [Mpa]	Dureza [HV]
1.4401	50	205-310	228-252	A	55-75	515-620	190-220
1.4310	100	179-207	229-253	A	55-69	503-556	215-240
1.4306	50	190-310	262-290	A	54-70	480-620	170-210
1.4021	60	340-495	195-215	A	21-40	622-688	188-260
1.1283	20	450-550	400-462	D	58-92	910-1120	270-330

Tabela 16 – Propriedades ponderadas – mola de lâmina

Material	Facilidade de Procura do Material	Tensão de Cedência [Mpa] ↑	Tensão Limite de Fadiga [Mpa] a 10 ⁷ ciclos ↑	Soldabilidade ↑	Tenacidade à Fractura [MPav/m] ↑	Rm [Mpa] ↑	Dureza [HV] ↑
1.4401	50	257.5	240	100	65	567.5	205
1.4310	100	193	241	100	62	529.5	227.5
1.4306	50	250	276	100	62	550	190
1.4021	60	417.5	205	100	30.5	655	224
1.1283	20	500	431	25	75	1015	300

De seguida na tabela 17, são apresentados os valores da tabela 16 ponderados.

Tabela 17 – Ponderação dos atributos – mola de lâmina

Material	Facilidade de Procura do Material	Tensão de Cedência [Mpa] ↑	Tensão Limite de Fadiga [Mpa] a 10 ⁷ ciclos ↑	Soldabilidade ↑	Tenacidade à Fractura [MPav/m] ↑	Rm [Mpa] ↑	Dureza [HV] ↑
1.4401	0.5	0.52	0.56	1.00	0.87	0.56	0.68
1.4310	1	0.39	0.56	1.00	0.83	0.52	0.76
1.4306	0.5	0.50	0.64	1.00	0.83	0.54	0.63
1.4021	0.6	0.84	0.48	1.00	0.42	0.65	0.75
1.1283	0.2	1.00	1.00	0.25	1.00	1.00	1.00

Na tabela 18 o material que apresenta maior índice de mérito é 1.4310.

Tabela 18 – Tabela final – mola de lâmina

Material	Facilidade de Procura do Material	Tensão de Cedência [Mpa] ↑	Tensão Limite de Fadiga [Mpa] a 10^7 ciclos ↑	Soldabilidade ↑	Tenacidade à Fractura [MPaVm] ↑	Rm [Mpa] ↑	Dureza [HV] ↑	Σ	$\Sigma(\times 100)$	Posição
1.4401	0.19	0.13	0.09	0.09	0.06	0.02	0.01	0.59	58.95	4º Lugar
1.4310	0.37	0.10	0.09	0.09	0.05	0.02	0.01	0.74	74.13	1º Lugar
1.4306	0.19	0.12	0.10	0.09	0.05	0.02	0.01	0.59	59.48	5º Lugar
1.4021	0.22	0.21	0.08	0.09	0.03	0.03	0.01	0.67	66.78	2º Lugar
1.1283	0.07	0.25	0.16	0.02	0.07	0.04	0.02	0.63	63.23	3º Lugar

3.5.2.3. Apoio mola

Para seleccionar correctamente as propriedades do apoio da mola consultou-se a tabela 8, em que eram apresentados os requisitos exigidos. Pela análise da tabela 8 equacionou-se definir as seguintes propriedades:

- Elevada dureza;
- Elevada tenacidade à fractura;
- Alta tensão de cedência.

Com estas propriedades definidas, iniciou-se assim a selecção de materiais, começando por definir na tabela 19 o índice de importância dos atributos, em que a dureza seria a propriedade mais importante na equação.

Tabela 19 – Índice de importância de atributos – apoio mola

	1-2	1-3	IMP.		%
Dureza	55	75	1.000	0.465	46.48%
Tenacidade à Fractura	45		0.818	0.380	38.03%
Tensão de Cedência		25	0.333	0.155	15.49%
			2.152	1.000	100.00%

Legenda:

- **1-2:** Comparação entre Dureza e Tenacidade à Fractura;
- **1-3:** Comparação entre Dureza e Tensão de Cedência;
- **IMP.** – Importância.

Após os índices estarem definidos, iniciou-se então a selecção dos materiais que melhor se adequavam para a peça em causa, desta forma, consultou-se o catálogo da F. Ramada, para obter os materiais que apresentavam durezas suficientes para o caso que seria requisitado, preenchendo assim a tabela 20, com os valores de todas as propriedades.

Tabela 20 – Propriedades – apoio mola

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPav/m]	Tensão de Cedência [MPa]
1.1191	207	47-76	565
1.0037	112-132	41-63	275
1.0553	119-143	43-63	235

Na tabela 21, é apresentado as propriedades ponderadas, relativas à tabela 20.

Tabela 21 – Propriedades ponderadas – apoio mola

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPav/m]	Tensão de Cedência [MPa]
1.1191	207	61.5	565
1.0037	122	52	275
1.0553	131	53	235

Com todos os valores das propriedades preenchidos, iniciou-se a elaboração da tabela 22, onde os atributos estão ponderados.

Tabela 22 – Ponderação dos atributos – apoio mola

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPav/m]	Tensão de Cedência [MPa]
1.1191	1	1	1
1.0037	0.59	0.85	0.49
1.0553	0.63	0.86	0.42

Por fim, na tabela 23, é apresentado os valores dos índices de mérito para cada uma das propriedades e no fim, o somatório para cada material.

Tabela 23 – Tabela final – apoio mola

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPav/m]	Tensão de Cedência [MPa]	Σ	$\Sigma (*100)$	Posição
1.1191	0.46	0.38	0.15	1.00	100.00	1ºLugar
1.0037	0.27	0.32	0.08	0.67	67.09	3ºLugar
1.0553	0.29	0.33	0.06	0.69	68.63	2ºLugar

O material que apresentou melhor ponderação, através dos índices de mérito foi o 1.1191, que deverá ser o escolhido para esta peça.

3.5.2.4. Linguete

Analisando a tabela 8, e verificando onde o linguete ficará acoplado no sistema e as suas solicitações, definiu-se as seguintes propriedades para a selecção de materiais:

- Elevada dureza;
- Elevada tenacidade à fractura;
- Alta soldabilidade;
- Alta resistência à corrosão;
- Elevada tensão de cedência.

Na tabela 24 são apresentados os índices de importância das propriedades, onde a dureza é a propriedade mais importante, porque o linguete irá estar sempre em contacto com outros materiais, em que os impactos são elevados, e este deverá resistir a esse desgaste.

Tabela 24 – Índice de importância de atributos - linguete

	1-2	1-3	1-4	1-5	IMP.		%
Dureza	55	60	70	80	1.000	0.316	31.61%
Tenacidade à Fractura	45				0.818	0.259	25.86%
Soldabilidade		40			0.667	0.211	21.07%
Resistência à Corrosão			30		0.429	0.135	13.55%
Tensão de Cedência				20	0.250	0.079	7.90%
				Soma	3.163	1.000	100.00%

Legenda:

- **1-2:** Comparação entre Dureza e Tenacidade à Fractura;
- **1-3:** Comparação entre Dureza e Soldabilidade;
- **1-4:** Comparação entre Dureza e Resistência à Corrosão;

- **1-5:** Comparação entre Dureza e Tensão de Cedência
- **IMP.** – Importância.

Sabendo que a dureza é a propriedade mais importante, e já definida na tabela 24, iniciou-se a selecção de materiais consultando novamente o catálogo F. Ramada, onde os materiais seleccionados estão apresentados na tabela 25, com as suas propriedades.

Tabela 25 – Propriedades - linguete

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Soldabilidade	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.2738	290-330	26.4-41.1	100	5	716-1420
1.7147	217	67-107	50	3	750
1.2083	300	15.3-18	75	4	1200

Na tabela 26, é apresentada as propriedades ponderadas relativamente à tabela 25, em que os valores, são valores intermédios apresentados na tabela anterior.

Tabela 26 – Propriedades ponderadas - linguete

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Soldabilidade	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.2738	310	33.75	100	5	1068
1.7147	217	87	50	3	750
1.2083	300	16.65	75	4	1200

Após as propriedades estarem ponderadas, iniciou-se assim a ponderação dos atributos na tabela 27, em que foi definido os valores mais elevados para as várias propriedades e os outros valores menores para cada um dos materiais seria calculado através do de maior valor considerado.

Tabela 27 – Ponderação dos atributos - linguete

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPav/m]	Soldabilidade	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.2738	1	0.39	1	1	0.89
1.7147	0.7	1	0.5	0.6	0.63
1.2083	0.97	0.19	0.75	0.8	1

Na tabela 28, é apresentada a tabela final, com os valores finais para os índices de mérito.

Tabela 28 – Tabela final - linguete

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPav/m]	Soldabilidade	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]	Σ	$\Sigma(*100)$	Posição
1.2738	0.32	0.10	0.21	0.14	0.07	0.83	83 %	1º Lugar
1.7147	0.22	0.26	0.11	0.08	0.05	0.72	72 %	2º Lugar
1.2083	0.31	0.05	0.16	0.11	0.08	0.70	70 %	3º Lugar

Analisando a tabela 28, verifica-se que o material que se destaca com maior índice de mérito é o material com o número mundial 1.2738.

3.5.2.5. Apoio punção

Para a selecção de materiais do apoio do punção, as propriedades mais importantes, consultando a tabela 8, e o seu funcionamento no sistema global, deverão ser:

- Elevada dureza;
- Elevada tenacidade à fractura;
- Alta resistência à corrosão;
- Elevada tensão de cedência.

Na tabela 29 são apresentados os índices de importância dos atributos em cima seleccionados.

Tabela 29 – Índice de importância dos atributos – apoio punção

	1-2	1-3	1-4	IMP.		%
Dureza	70	75	80	1.000	0.497	49.70%
Tenacidade à Fractura	30			0.429	0.213	21.30%
Resistência à Corrosão		25		0.333	0.166	16.57%
Tensão de Cedência			20	0.250	0.124	12.43%
			Soma	2.012	1.000	100.00%

Legenda:

- **1-2:** Comparação entre Dureza e Tenacidade à Fractura;
- **1-3:** Comparação entre Dureza e Resistência à Corrosão;
- **1-4:** Comparação entre Dureza e Tensão de Cedência;

- **IMP.** – Importância.

Sabendo qual é a propriedade mais importante e relevante a que a peça seria solicitada, iniciou-se assim a recolha dos materiais mais convenientes para esta peça, preenchendo a tabela 30, com as devidas propriedades.

Tabela 30 – Propriedades – apoio punção

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPav/m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.2080	270	18.3-21.5	4	1860-2290
1.2379	260	18.3-21.5	4	1860-2290
1.2510	240	19.3-22.1	4	1800-2140

Na tabela 31 é apresentada as propriedades ponderadas, relativas à tabela 30.

Tabela 31 – Propriedades ponderadas – apoio punção

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPav/m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.2080	270	20.2	4	2075
1.2379	260	20.2	4	2075
1.2510	240	20.7	4	1970

Com as propriedades ponderadas, na tabela 32, é calculada a ponderação dos atributos.

Tabela 32 – Ponderação dos atributos – apoio punção

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.2080	1.00	0.98	1.00	1.00
1.2379	0.96	0.98	1.00	1.00
1.2510	0.89	1.00	1.00	0.95

Por fim, na tabela 33, é calculado o índice de mérito para cada material.

Tabela 33 – Tabela final – apoio punção

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]	Σ	$\Sigma(x100)$	Posição
1.2080	0.50	0.21	0.17	0.12	0.99	99.49	1ºLugar
1.2379	0.48	0.21	0.17	0.12	0.98	97.64	2ºLugar
1.2510	0.44	0.21	0.17	0.12	0.94	93.85	3ºLugar

O material que apresenta melhor índice de mérito, analisado através da tabela 33, é o material com o número mundial 1.2080.

3.5.2.6. Chapa

A chapa será umas das peças sofrerá maior desgaste, analisando a tabela 8 verifica-se que as propriedades que devem ser tidas em conta na selecção de materiais são as seguintes:

- Elevada dureza;

- Elevada tenacidade à fractura;
- Alta resistência à corrosão;
- Elevada tensão de cedência.

Na tabela 34 são apresentados os índices de importância das propriedades selecionadas.

Tabela 34 – Índice de importância dos atributos - chapa

	1-2	1-3	1-4	IMP.		%
Dureza	55	60	70	1.000	0.343	34.32%
Tenacidade à Fractura	45			0.818	0.281	28.08%
Resistência à Corrosão		40		0.667	0.229	22.88%
Tensão de Cedência			30	0.429	0.147	14.71%
			Soma	2.913	1.000	100.00%

Legenda:

- **1-2:** Comparação entre Dureza e Tenacidade à Fractura;
- **1-3:** Comparação entre Dureza e Resistência à Corrosão;
- **1-4:** Comparação entre Dureza e Tensão de Cedência;
- **IMP.** – Importância.

Definidos os índices de importância, é necessário agora, reunir alguns materiais que podem ir de encontro às exigências, para isso consultou-se o catálogo *online* do F. Ramada, e definiu-se na tabela 35, todas as propriedades necessárias para a selecção de materiais.

Tabela 35 – Propriedades - chapa

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.0037	627	82.5	4	235
1.1191	207	61.5	4	565
1.0553	627	62.5	4	275

Na tabela 36, são ponderados os atributos, relativos à tabela 35, onde são definidos os valores mais elevados para cada uma das propriedades de cada material, e os outros são ponderados relativamente aos mais elevados.

Tabela 36 – Ponderação dos atributos - chapa

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.0037	1.000	1.000	1.000	0.416
1.1191	0.330	0.745	1.000	1.000
1.0553	1.000	0.758	1.000	0.487

Na tabela 37 é apresentada a tabela final com os índices de mérito.

Tabela 37 – Tabela final - chapa

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]	Σ	$\Sigma(x100)$	Posição
1.0037	0.343	0.281	0.229	0.061	0.914	91.4	1ºLugar
1.1191	0.113	0.209	0.229	0.147	0.698	69.8	3ºLugar
1.0553	0.343	0.213	0.229	0.072	0.857	85.7	2ºLugar

O material que se apresentou com melhor índice de mérito é o material com o número mundial 1.0037. No final de quinagem e maquinagem da chapa, esta deverá ser fosfatada, para aumentar a sua resistência à corrosão.

A chapa deverá de ser fosfatada, porque o meio onde irá encontrar-se é sujeita à corrosão, e com este tratamento a sua resistência à corrosão aumentará.

3.5.2.7. Excêntrico

O excêntrico tem como finalidade garantir a fixação do suporte, e deve-se ter em conta que esta peça tem grandes impactos contra o intermediário. Consultando a tabela 8 dos requisitos exigidos, foram definidas as seguintes propriedades para a selecção de materiais:

- Elevada dureza;
- Elevada tenacidade à fractura;
- Alta resistência à corrosão;
- Elevada tensão de cedência.

Após estarem definidas as propriedades mais relevantes, na tabela 38 é apresentado o índice de importância dos atributos, sendo a dureza mais importante, porque assim permitirá que o excêntrico resista ao desgaste.

Tabela 38 – Índice de importância dos atributos - excêntrico

	1-2	1-3	1-4	IMP.		%
Dureza	55	60	70	1.000	0.343	34.32%
Tenacidade à Fractura	45			0.818	0.281	28.08%
Resistência à Corrosão		40		0.667	0.229	22.88%
Tensão de Cedência			30	0.429	0.147	14.71%
			Soma	2.913	1.000	100.00%

Legenda:

- **1-2:** Comparação entre Dureza e Tenacidade à Fractura;
- **1-3:** Comparação entre Dureza e Resistência à Corrosão;
- **1-4:** Comparação entre Dureza e Tensão de Cedência;
- **IMP.** – Importância.

Após os índices de importância dos atributos atribuídos, inicia-se a recolha dos materiais que melhor garantem as propriedades desejadas. Consultando o catálogo do F. Ramada, seleccionou-se os materiais apresentados na tabela 39 e definiu-se as suas propriedades mecânicas.

Tabela 39 – Propriedades - excêntrico

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.7147	217	86-137	4	320-400
1.5752	200	55-60	4	520
1.6587	190	70-84	4	785.59
1.7131	207	60-70	4	590.59

Na tabela 40 são apresentadas as propriedades ponderadas da tabela 39.

Tabela 40 – Propriedades ponderadas - excêntrico

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPa√m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.7147	217	111.5	4	360
1.5752	200	57.5	4	520
1.6587	190	77	4	785.59
1.7131	207	65	4	590.59

Com a tabela 40 preenchida, inicia-se a ponderação dos atributos na tabela 41, em que são definidos os materiais com propriedades mais elevadas e depois ponderados esses atributos.

Tabela 41 – Ponderação dos atributos - excêntrico

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPav/m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]
1.7147	1.000	1.000	1.000	0.458
1.5752	0.922	0.516	1.000	0.662
1.6587	0.876	0.691	1.000	1.000
1.7131	0.954	0.583	1.000	0.752

Na tabela 42 são apresentados os índices de mérito dos materiais, em que o material que apresenta maior índice de mérito é o material 1.7147.

Tabela 42 – Tabela final - excêntrico

Material	Dureza [HB]	Tenacidade à Fractura [MPav/m]	Resistência à Corrosão	Tensão de Cedência [MPa]	Σ	$\Sigma(x100)$	Posição
1.7147	0.343	0.281	0.229	0.067	0.92	92	1º Lugar
1.5752	0.316	0.145	0.229	0.097	0.787	78.7	4º Lugar
1.6587	0.301	0.194	0.229	0.147	0.87	87	2º Lugar
1.7131	0.327	0.164	0.229	0.111	0.831	83.1	3º Lugar

No final da processo de maquinagem, o material deverá primeiro receber um tratamento por têmpera para aumentar a dureza e após esse tratamento deverá ser feito um revenido, para eliminar tensões internas que possam ter ocorrido após têmpera.

3.5.3. Tolerancimento

Foi necessário também equacionar as tolerâncias a que os elementos fabricados teriam de estar sujeitos. Para economizar no processo de fabrico, definiu-se que todas as peças que necessitam ser maquinadas seguiriam a norma ISO 2768 - mK, que diz respeito uma qualidade média para os tolerancimentos dimensionais e geométricos. Já para a soldadura definiu-se que estas teriam de seguir a norma ISO 13920 – A, em que a letra “A” significa uma tolerância fina. Para a soldadura teve de se definir esta tolerância, porque é de grau acrescido soldar aço mola com o aço selecionado para os linguetes. Outro cuidado foi a definição do tolerânciamento geométrico do suporte, em que foi necessário definir angularidades, paralelismos, perpendicularidades e circularidades, pois esta peça apresenta muitos pormenores e contactos importantes com outros elementos internos e externos ao sistema, tal como o contacto do suporte com o intermediário, quando este inclina e se encosta ao mesmo. O tolerânciamento poderá ser consultado no anexo V, nos desenhos 2D de todos os elementos (Simões Morais, 2006).

3.5.3.1. Tolerânciamento dimensional

3.5.3.1.1. Suporte e apoio suporte punção

Para garantir que ocorre a fixação uniforme dos punções correcta, o apoio do punção não poderá sair durante os movimentos que o suporte realiza. Para isso realizou-se o seguinte tolerânciamento dimensional para garantir que o mesmo se fixa por aperto, com montagem a martelo ao suporte.


Elementos:

- Apoio Suporte Punção;
- Suporte.

Ligação fortemente presa, com montagem a martelo

Mecânica: Cuidada H7/m6

Tabela 43 – Suporte e apoio suporte punção

	Suporte	Apoio Suporte Punção
	3 H7	3 m6
C.N.	3	3
Tol	0.010	0.006
Es/es	+0.010	+0.008
Ei/ei	0	+0.002
D/d máx	3.01	3.008
D/d min	3	3.002
Posição das Tolerâncias		
Tipo de Ajustamento	Aperto	
Folgas Apertos	$A_{max} = 3.01 - 3.002 = 0.008 \text{ mm}$ $A_{min} = 3 - 3.008 = -0.008 \text{ mm}$	

3.5.3.1.2. Mola de lâmina e parafuso ISO 7380 M4*8

Para garantir que o parafuso se insere facilmente no furo M4 da mola de lâmina realizou-se o seguinte tolerânciamento dimensional.


Elementos:

- Parafuso ISO 7380 M4*8 – 12.9;
- Mola de lâmina.

Ligação com ajustamento livre, com montagem à mão

Mecânica: E7/g6

Tabela 44 – Mola de lâmina e parafuso ISO 7380 M4*8

	Mola de lâmina	Parafuso M4 g6
	Ø4 E7	
C.N.	4	4
Tol	0.012	0.008
Es/es	0.032	-0.004
Ei/ei	0.020	-0.012
D/d máx	4.032	3.996
D/d min	4.020	3.988
Posição das Tolerâncias		
Tipo de Ajustamento	Folga	
Folgas Apertos	$F_{\text{máx}} = 4.032 - 3.988 = 0.044 \text{ mm}$ $F_{\text{min}} = 4.020 - 3.996 = 0.024 \text{ mm}$	

3.5.3.1.3. Apoio mola e parafuso ISO 7380 M4*8

De modo a garantir que o parafuso se insere facilmente no furo M4 do apoio da mola realizou-se o seguinte tolerânciamento dimensional.


Elementos:

- Parafuso ISO 7380 M4*8 – 12.9;
- Apoio mola.

Ligação com ajustamento livre, com montagem à mão

Mecânica: E7/g6

Tabela 45 – Apoio mola e parafuso ISO 7380 M4*8

	Apoio Mola	Parafuso M4 g6
	Ø4 E7	
C.N.	4	4
Tol	0.012	0.008
Es/es	0.032	-0.004
Ei/ei	0.020	-0.012
D/d máx	4.032	3.996
D/d min	4.020	3.988
Posição das Tolerâncias		
Tipo de Ajustamento	Folga	
Folgas Apertos	$F_{\text{máx}} = 4.032 - 3.988 = 0.044 \text{ mm}$ $F_{\text{min}} = 4.020 - 3.996 = 0.024 \text{ mm}$	

3.5.3.1.3. Excêntrico e parafuso ISO 7380 M8*20

Para uma fácil montagem do excêntrico ao parafuso e para definir tolerânciamentos dimensionais convenientes para este processo, realizou-se a tabela 46.


Elementos:

- Excêntrico Ø8;
- Parafuso ISO 7380 M8*20 – 12.9.

Ligação com ajustamento livre, com montagem à mão

Mecânica: H7/g6

Tabela 46 – Excêntrico e parafuso ISO 7380 M8*20

	Excêntrico	Parafuso M8 g6
	Ø8 H7	
C.N.	8	8
Tol	0.015	0.009
Es/es	0.015	-0.005
Ei/ei	0	-0.014
D/d máx	8.015	7.995
D/d min	8	7.986
Posição das Tolerâncias		
Tipo de Ajustamento	Folga	
Folgas Apertos	$F_{\text{máx}} = 8.015 - 7.986 = 0.029 \text{ mm}$ $F_{\text{min}} = 8 - 7.995 = 0.005 \text{ mm}$	

3.5.3.1.4. Chapa de protecção e parafuso ISO 7380 M4*8

Para uma fácil montagem dos parafusos à chapa de protecção, para garantir que o parafuso insere-se facilmente no furo da chapa de protecção foram definidos os tolerânciamentos dimensionais na tabela 47.

Elementos:

- Parafuso ISO 7380 M4*8 – 12.9;
- Chapa de protecção.

Ligação com ajustamento livre, com montagem à mão

Mecânica: E7/g6

Tabela 47 – Chapa de protecção e parafuso ISO 7380 M4*8

Chapa de protecção		Parafuso M4 g6
Ø4 E7		
C.N.	4	4
Tol	0.012	0.008
Es/es	0.032	-0.004
Ei/ei	0.020	-0.012
D/d máx	4.032	3.996
D/d min	4.020	3.988
Posição das Tolerâncias		
Tipo de Ajustamento	Folga	
Folgas Apertos	$F_{\text{máx}} = 4.032 - 3.988 = 0.044 \text{ mm}$ $F_{\text{min}} = 4.020 - 3.996 = 0.024 \text{ mm}$	

3.5.4. Procesos de fabrico

3.5.4.1. Soldadura laser

A soldadura é um processo de união de materiais por adição de um material, cuja esta ligação é tão ou mais resistente que as características dos materiais envolvidos, ou seja, a ligação soldada nunca será a primeira a romper.

A soldadura laser, que será usada na ligação entre a mola de lâmina e o linguete, consiste num feixe de radiação por um processo físico designado por emissão estimulada, em que um átomo de um material fluorescente pode passar para um nível de maior energia, através do fornecimento de energia eléctrica ou luminosa. A sigla LASER significa *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Na figura 203 é possível observar o esquema da geração do feixe “Laser”.

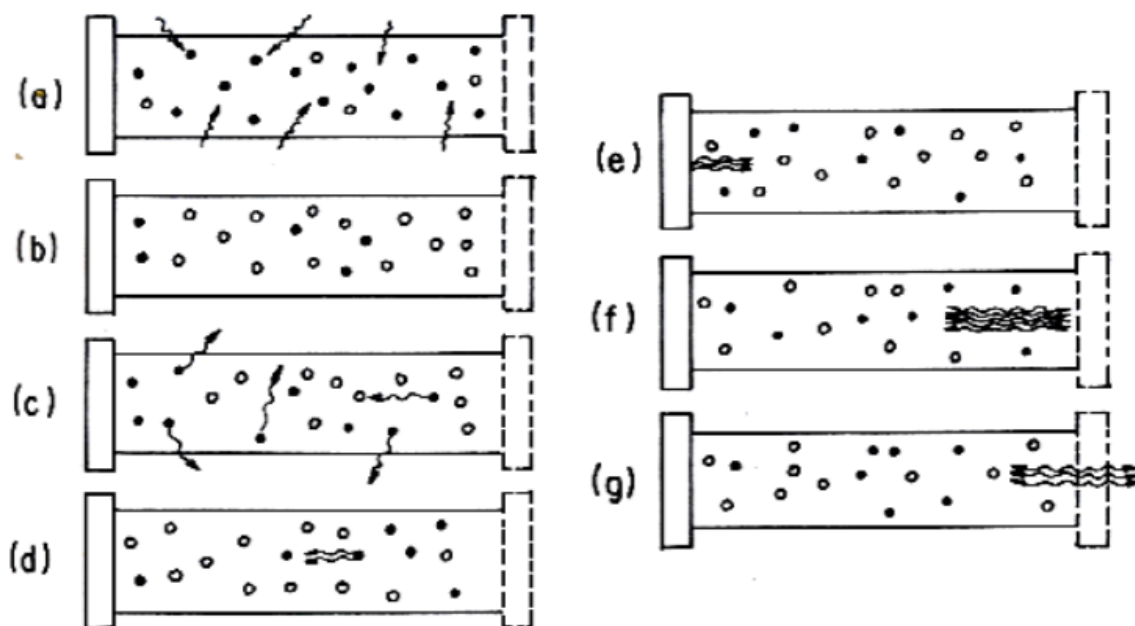


Figura 203 - Esquema da geração do feixe "laser" (Francisco Silva, 2007)

- a- Os átomos, no seu nível normal de energia, são excitados por energia eléctrica externa;
- b- Os átomos passam para um nível energético superior;
- c- Esses átomos emitem fótons;
- d- Os fótons estimulam outros átomos a emitir mais fótons;
- e- Os fótons incidem num espelho côncavo, reflectindo a radiação incidente;
- f- Esses fótons continuam a excitar outros átomos, até incidir noutro espelho, que é transparente a determinados comprimentos de onda;
- g- A restante radiação é reflectida para voltar a ser amplificada.

Na figura 204 são apresentados todos os elementos que compõem o sistema de soldadura a laser.

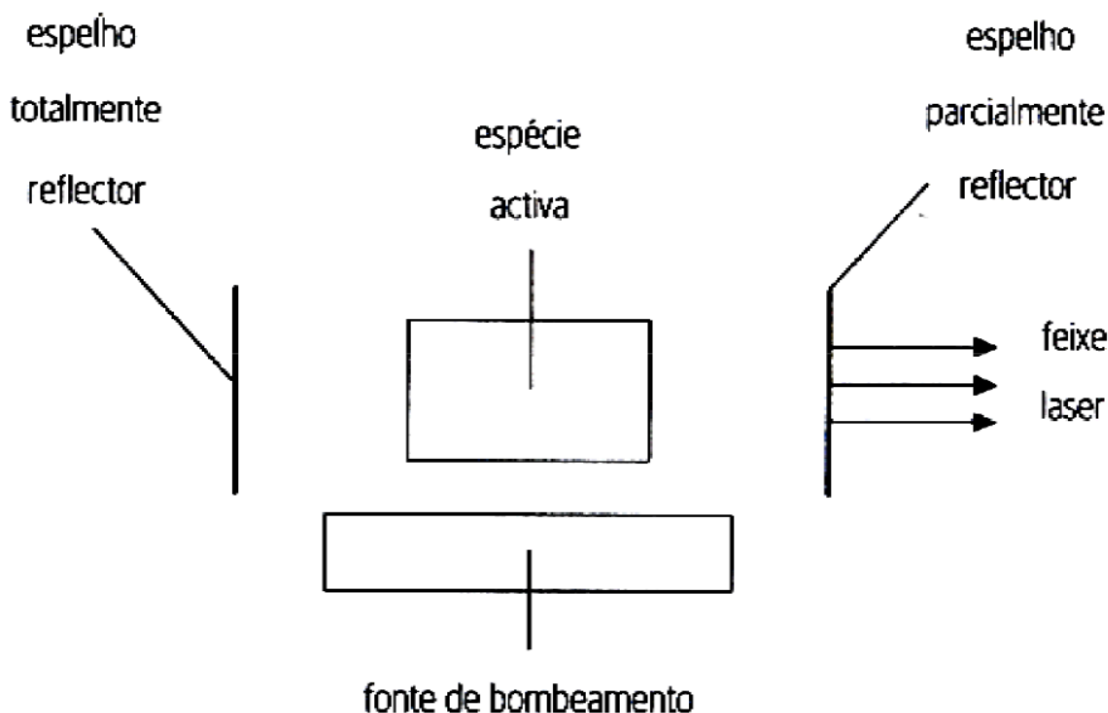


Figura 204 - Elementos básicos de um "laser" (Francisco Silva, 2007)

Para a ligação da mola de lâmina e do linguete será usada a soldadura por laser com adição de CO_2 , em que este composto químico funciona como o gás que é estimulado para geração do feixe.

Este processo de soldadura foi escolhido para a soldadura dos linguetes às molas de lâmina devido às grandes vantagens que este apresenta relativamente aos outros para este caso, nomeadamente elevada velocidade de soldadura e possibilidade de fazer soldaduras de 300mm sem paragens. Não é necessário material de adição. Os materiais são heterogéneos, as deformações permitidas são quase nulas, e quase não é permitido qualquer volume exterior de material de adição. Assim, a soldadura laser é o processo indicado, dado que, rapidamente gera um cordão de soldadura mínimo com resistência adequada sem grande aporte térmico, para os materiais envolvidos e com um controlo de processo muito apurado.

3.5.4.2. Maquinagem - fresagem

A fresagem consiste em cortar/desbastar peças de metal através de uma ferramenta rotativa em que o metal se encontra imóvel.

Este processo é usado essencialmente para a produção de superfícies planas, ranhuras, caixas, furos cegos de fundo plano, degraus, etc. A peça é apertada à mesa de trabalho da máquina (através de grampos), enquanto a ferramenta é animada de movimento de rotação no sentido do corte. (Francisco Silva, 2007). A mesa de trabalho onde o material está fixo pode ser movimentada nos eixos XX' , YY' e ZZ' .

As ferramentas de trabalho podem ter inúmeras configurações e dentes diversos, podendo ser para uso vertical (figura 205) ou horizontal (figura 206).

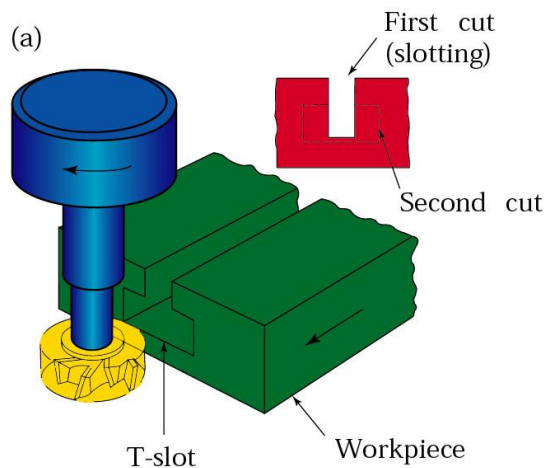


Figura 205 - Fresa vertical (Kalpakjian, 2003)

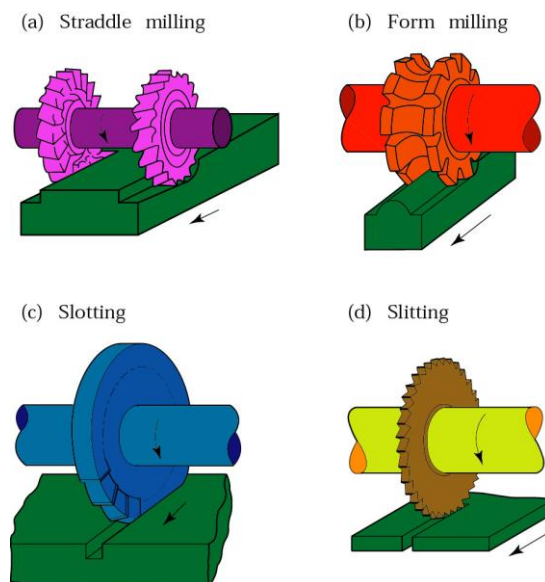


Figura 206 - Fresas horizontais (Kalpakjian, 2003)

A fresagem pode ser convergente e divergente (figura 207), em que os factores de movimento de corte e movimento de avanço apresentam elevada relevância na obtenção de um bom acabamento ou não.

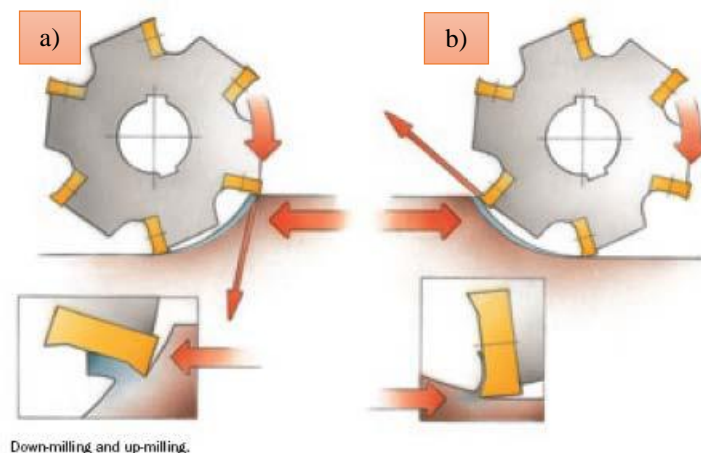


Figura 207 - a) fresagem convergente b) fresagem divergente (Sandvik, 2005)

Na fresagem convergente a força comprime a peça contra a mesa, sendo um factor bastante favorável pois são obtidos melhores acabamentos superficiais, a vida útil da ferramenta é 50 % superior à da fresagem divergente e, não são necessárias elevadas potências. No entanto, este tipo de fresagem já exige uma fixação completamente rígida e não é adequada a peças que possuam mau acabamento superficial ou mal limpas.

Com a utilização da fresagem divergente a força realizada durante o processo tende a levantar a peça da mesa de trabalho. É fundamental uma maior potência devido ao maior atrito entre a peça e a ferramenta. Para além disso, o material é removido para a frente prejudicando o acabamento da peça.

Neste tipo de processo fabril os parâmetros principais que devem ser tidos em conta são a velocidade de corte (v), avanço por dente (f), profundidade de corte (d) (figura 208) e raio de ponta da pastilha/ferramenta.

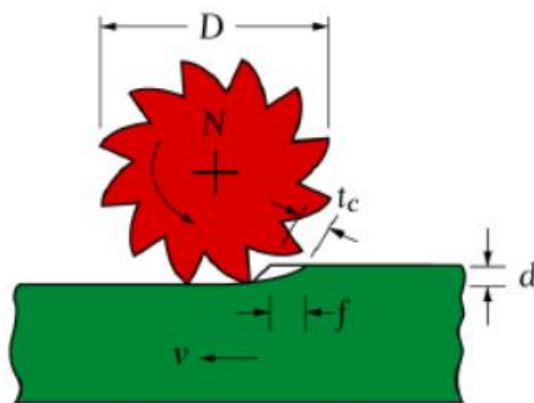


Figura 208 - Parâmetros de fresagem (Francisco Silva, 2007)

3.5.5. Dimensionamento das molas helicoidais

Na figura seguinte é apresentada a massa total do sistema global, utilizando as propriedades do *Solidworks*. Deste modo é possível proceder ao cálculo das molas helicoidais (Shigley, 2005):

Para uma massa de 1721.93 g = 1.72193 kg (figura 209).

```

Mass properties of suporte_5v3.1
Configuration: Default
Coordinate system: -- default --

Mass = 1721.93 grams
Volume = 242362.54 cubic millimeters
  
```

Figura 209 - Massa do sistema de fixação

$$1.72193 * 9.81 = 16.8921 \text{ N} \quad (9)$$

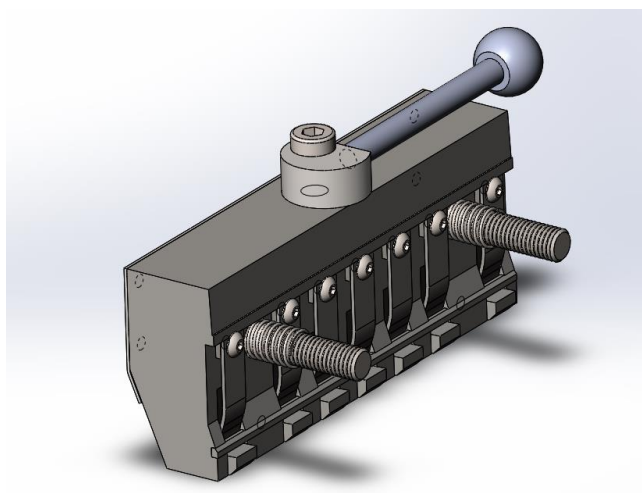


Figura 210 - Sistema de fixação molas em paralelo

Como as duas molas irão funcionar em paralelo, como é apresentada na figura 210, então:

$$\frac{16.8921}{2} = 8.44607 \text{ N} \quad (10)$$

Na figura 211, a distância apresentada de 16.31 mm, é a distância desde onde a mola fica fixa no suporte até ao intermediário, neste caso o sistema de fixação encontra-se fechado, ou seja a mola está ligeiramente comprimida. Já na figura 212 a distância de 16.62 mm, é a distância desde onde a mesma fixa no suporte até ao intermediário, mas agora o sistema de fixação encontra-se aberto, para permitir retirar o punção mais facilmente.

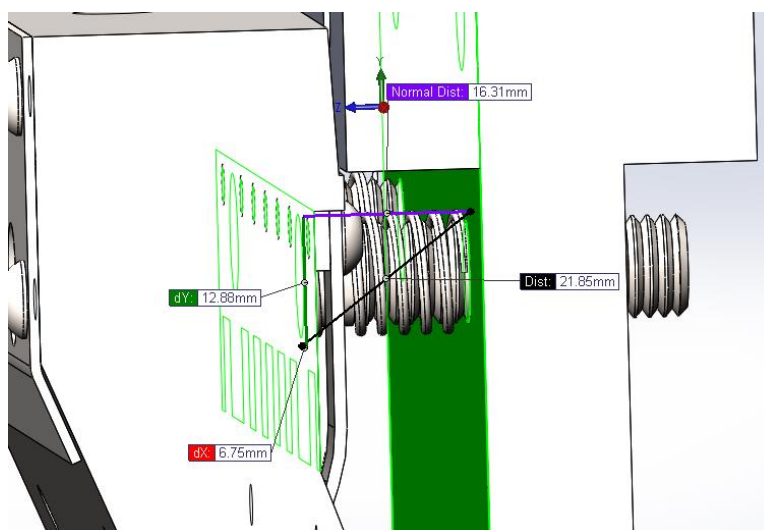


Figura 211 - Distância do suporte ao intermediário com o suporte fechado

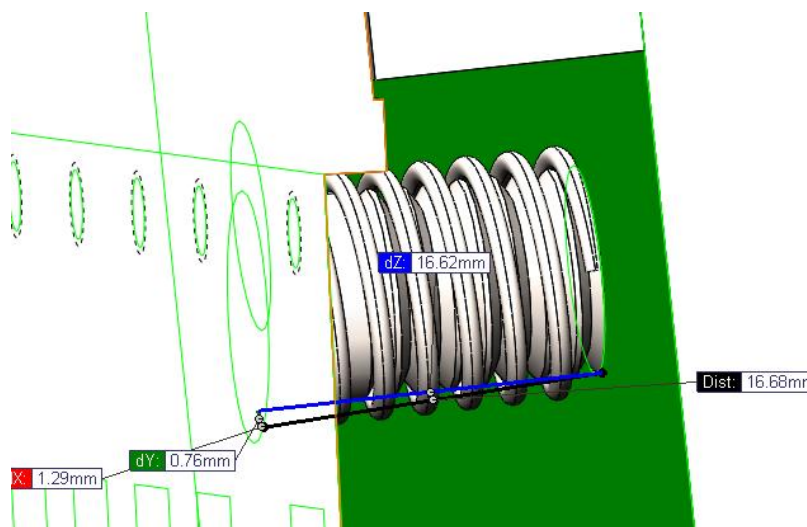


Figura 212 - Distância do suporte ao intermediário com o suporte aberto

Como a figura 211 e 212 indicam, o deslocamento que a mola irá sofrer é de:

$$y = 16.62 - 16.31 = 0.31 \text{ mm} \quad (11)$$

Com estes dados é possível aplicar a fórmula geral para dimensionamento das molas, para a obtenção da constante k , da mola, que irá permitir efectuar a selecção da mesma.

$$F \leq k_{mola} * y \Leftrightarrow 8.44607 \leq k_{mola} * 0.31 \Leftrightarrow k_{mola} \leq 27.2454 \text{ N/mm} \quad (12)$$

Agora é possível então seleccionar uma combinação de parâmetros geométricos compatíveis com o valor do k obtido.

Com a ajuda do *website Trace Parts Online*, foi possível configurar uma mola helicoidal que satisfizesse as condições anteriormente referidas, sendo $k_{mola} = 27.2454 \text{ N/mm}$, e que possa ser inserida no parafuso M10. Assim, a mola no mínimo tem de ter aproximadamente 10 mm de diâmetro interno. A mola seleccionada apresenta os seguintes parâmetros:

- Marca: Vanel;
- $\varnothing d$ – Diâmetro do arame: 2.20 mm;
- $\varnothing D0$ – Diâmetro externo: 15 mm;
- $L0$ – Comprimento da mola – 18 mm;
- K_{mola} – Constante de rigidez da mola helicoidal – 30.5435 N/mm;
- Material – Aço inoxidável.

3.6. Lista de peças e componentes utilizados

Na figura 213 são apresentados todos os elementos que compõem o sistema de fixação com a utilização de mola de chapa, em que na tabela 48, são definidos todos os componentes, quantidades e materiais.

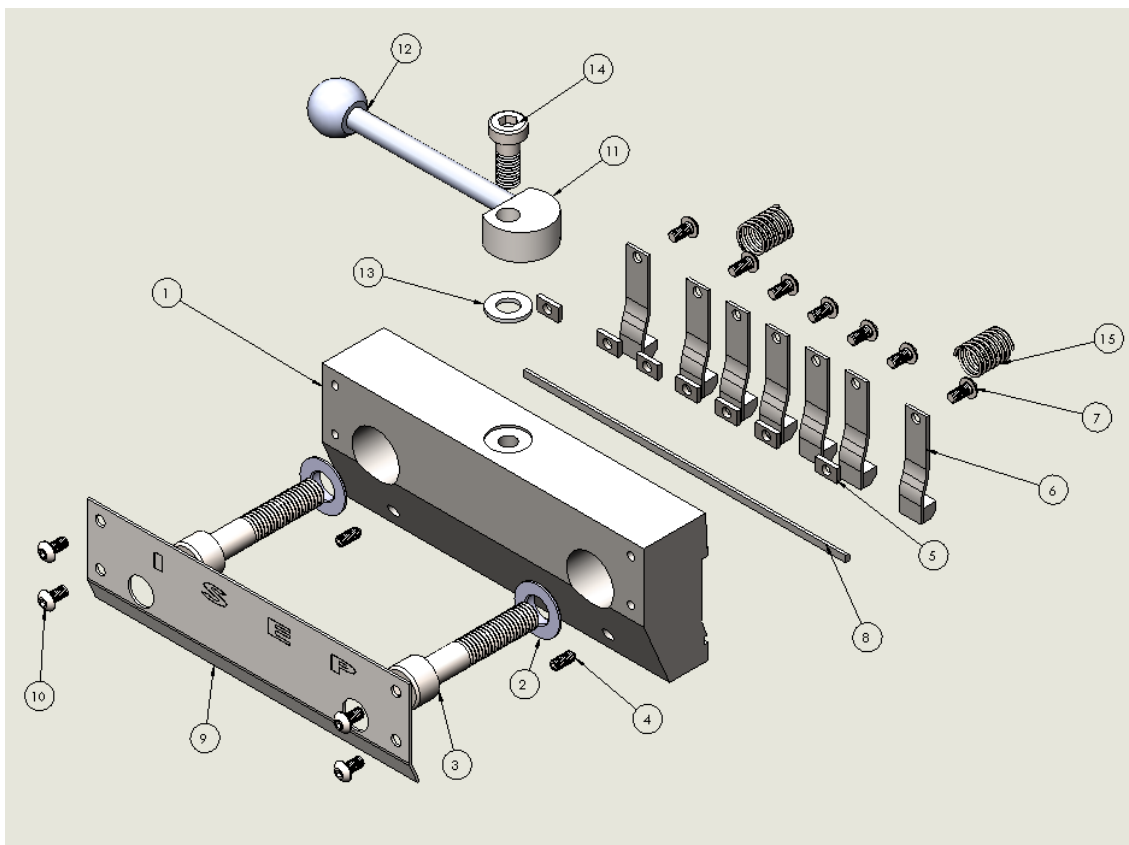



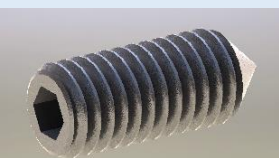

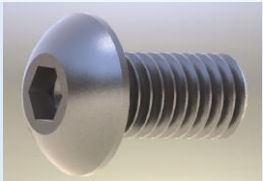
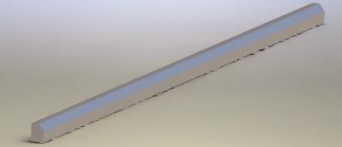



Figura 213 - Vista explodida do Suporte_5 – Mola de lâmina - Numeração dos diversos elementos para clara identificação

Tabela 48 - Lista de peças e componentes utilizados

Item	Figura	Quantidade	Descrição	Material
1		1	Suporte	1.2767

2		2	Casquilho Norelem 07420-0110	Normalizado
3		2	Parafuso ISO 4762 M10*50	Normalizado
4		2	Parafuso ISO 4027 M4*10	Normalizado
5		7	Apoio Mola de Lâmina	1.1191 (F10)
6		7	Mola de Lâmina	Mola: 1.4310 Linguete:1.2738 (2738 Super)
7		7	Parafuso ISO 7380 M4*8	Normalizado
8		1	Apoio Suporte Punção	1.2080 (RL200)
9		1	Chapa de Protecção	1.0037 (S235JR)

10		4	Parafuso ISO 7380 M4*8	Normalizado
11		1	Excêntrico	1.7147
12		1	Alavanca Halder 24350.0024	Normalizado
13		1	Casquilho Bülte 1258JN	Normalizado
14		1	Parafuso DIN 6912 M8*20	Normalizado
15		2	Mola Helicoidal VANEL.	Normalizado

3.7. Instruções para a montagem do sistema

É de seguida apresentada a sequência de fabrico, para a soldadura das molas de lâmina aos linguetes utilizando um *gabarit* de soldadura e posterior montagem de todos os elementos que compõem o sistema de fixação.

- 1- Deverão ser posicionadas as molas de lâmina e linguetes no *gabarit* (figura 214), nas chapas que separam as várias posições como é representado na figura 215. Na figura 216 são apresentados as molas e os linguetes já posicionados para soldar na parte superior do linguete;

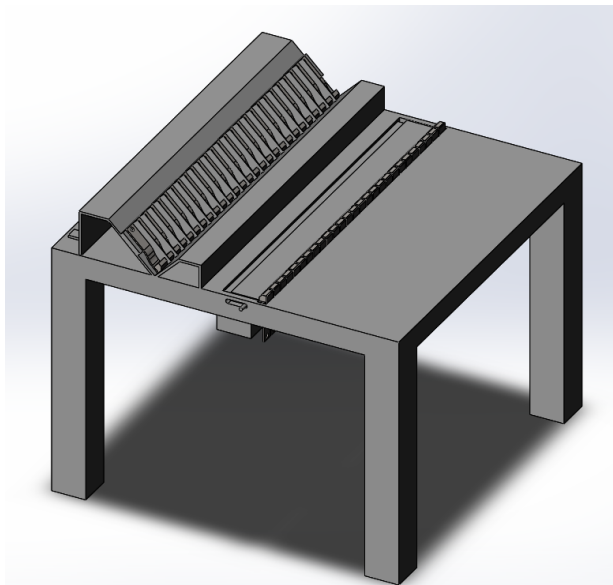


Figura 214 - *Gabarit* de soldadura

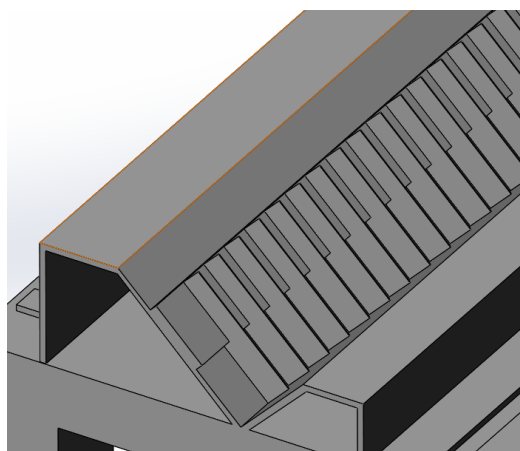


Figura 215 - Chapas para separar as molas de lâminas individualmente

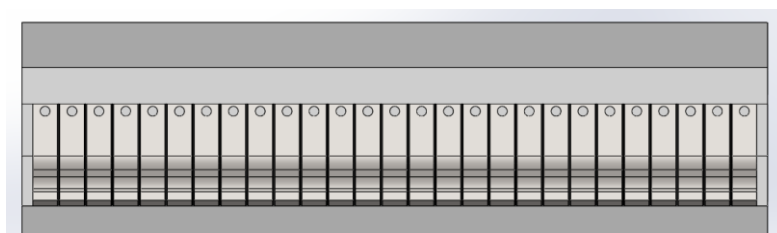


Figura 216 - Molas de lâminas e linguetes no *gabarit* para soldar parte superior do linguete

- 2- Após todas as molas de lâminas terem o primeiro cordão de soldadura, agora devem ser retiradas do local e posicionadas entre as chapas, cada mola individualmente, conforme mostra nas figuras 217 e 218;

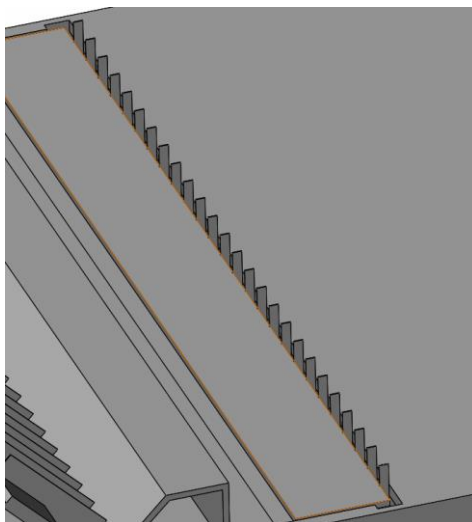


Figura 217 - Chapas para separar as molas para soldar a parte inferior do linguete

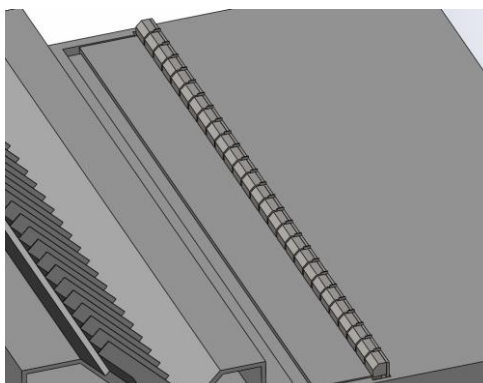


Figura 218 - Molas de lâmina prontas a soldar apoiadas em mesa móvel

- 3- Após a soldadura estar concluída, agora é possível abrir a mesa móvel, indicada como 1 na figura 219, em que as molas de lâmina sairão por um rasgo definido na figura 220 por 1, para uma caixa.

Este *gabarit* pode ser automatizado, permitindo ao operador colocar as molas e linguetes no primeiro local de soldadura e, depois, estas devem ser posicionadas no local para o último cordão de soldadura;

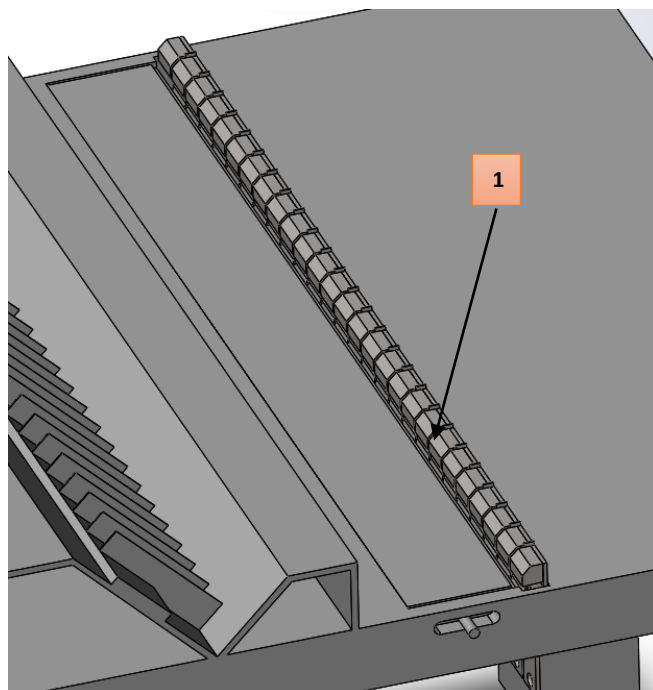


Figura 219 - Mesa móvel aberta

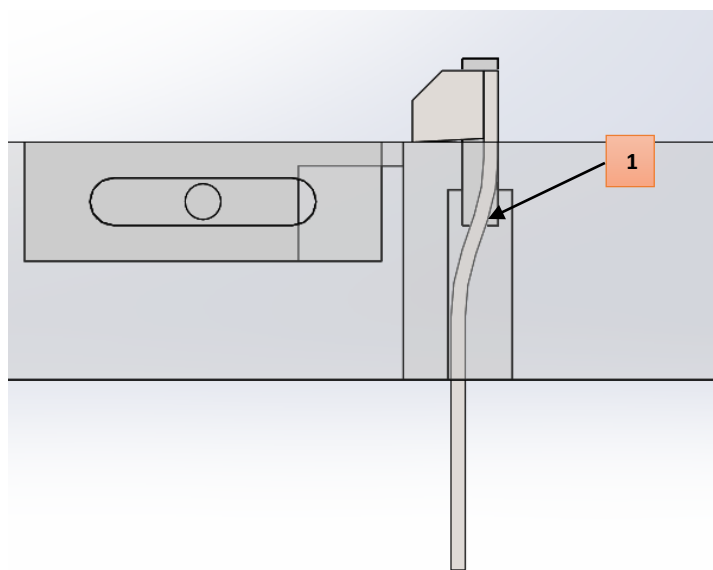


Figura 220 - Rasgo por onde as molas sairão do *gabarit*

- 4- Colocar as molas de lâmina (6) nos parafusos (7), como mostra a figura 221;

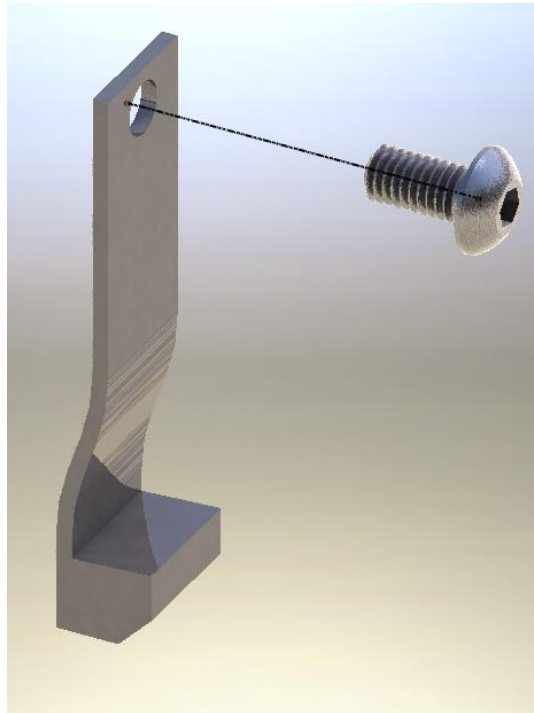


Figura 221 - Montagem do parafuso na mola de lâmina

- 5- Colocar o apoio (5) no parafuso (7), encostado à mola de lâmina (6) (figura 222);

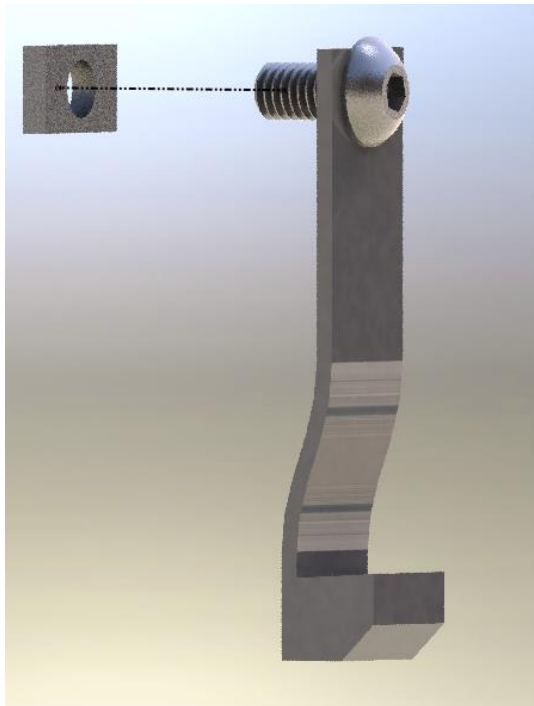


Figura 222 - Montagem do apoio no parafuso e encostar à mola de lâmina

6- Repetir 6 vezes o passo 1 e 2 (figura 223 e 224);

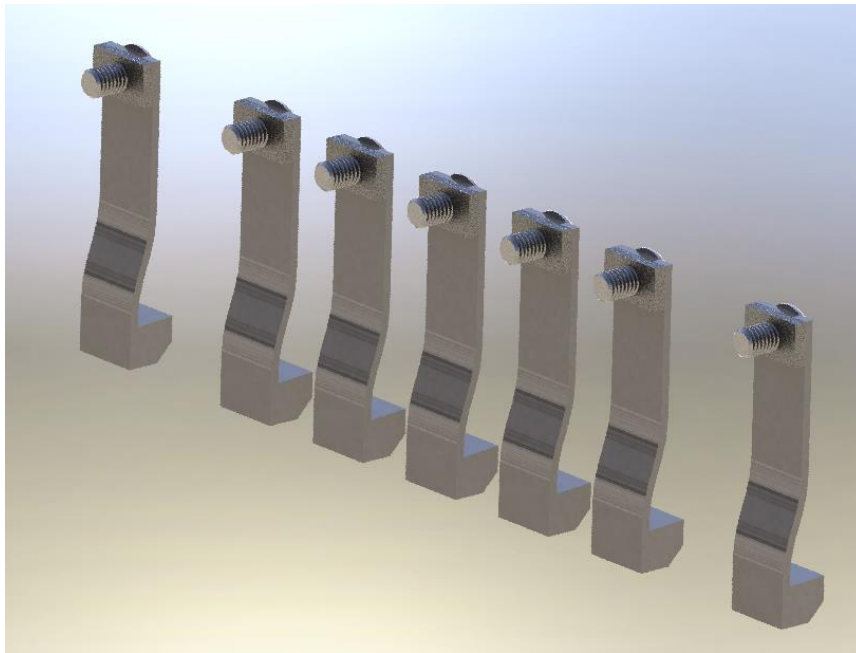


Figura 223 - Molas de lâmina e apoios montados nos parafusos



Figura 224 - Molas de lâmina e apoios montados nos parafusos

- 7- Colocar estas 7 montagens no suporte (1) como indica a figura 225 e proceder ao aperto dos parafusos (7);

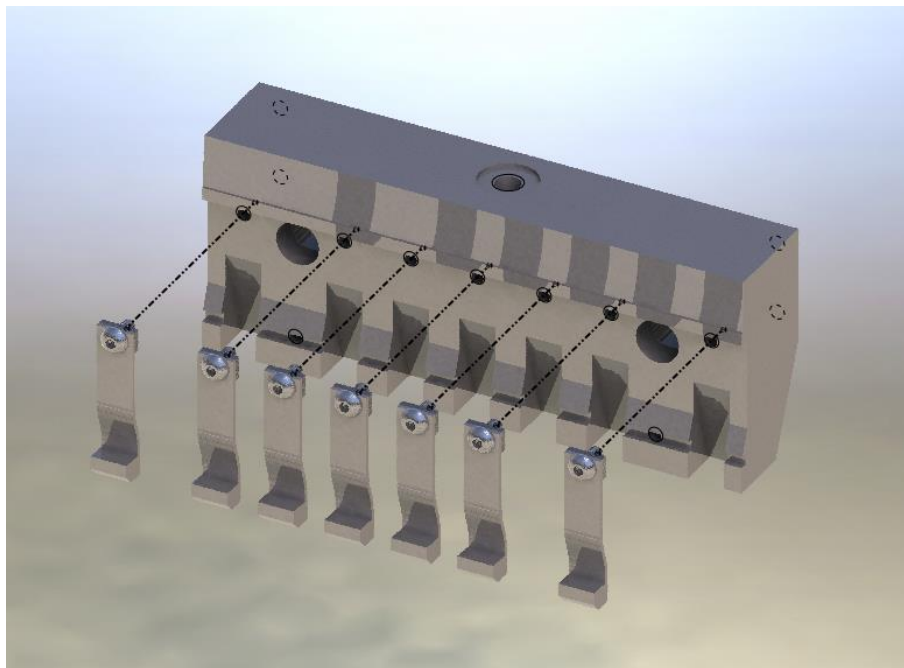


Figura 225 - Montagem das molas de lâmina no suporte

- 8- Apertar os parafusos (4) e colocar sobre pressão a peça de apoio do suporte de punção (8) ajustando-a através dos parafusos ISO 4027 M4*10 (4), convenientemente e na posição desejada (figuras 226, 227 e 228);

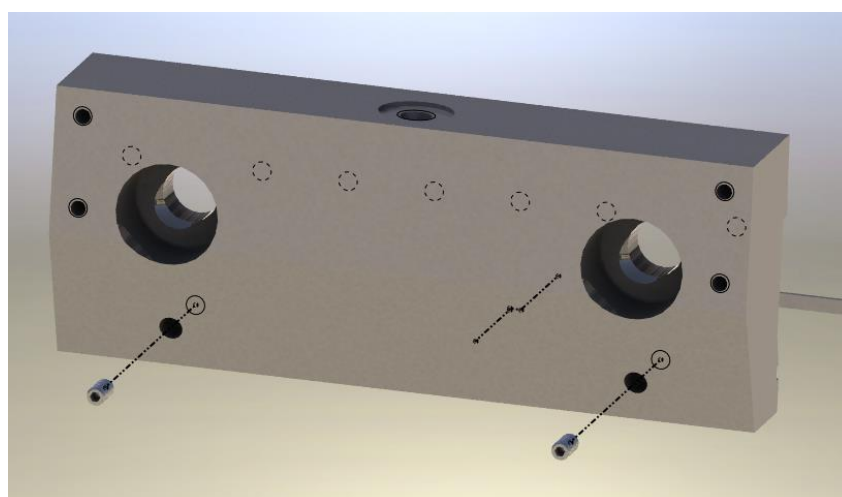


Figura 226 - Montagem dos parafusos sem cabeça no suporte

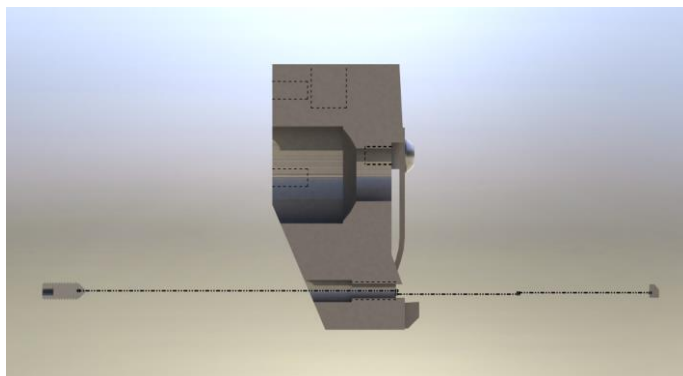


Figura 227 - Montagem dos parafusos sem cabeça e do apoio do punção no suporte

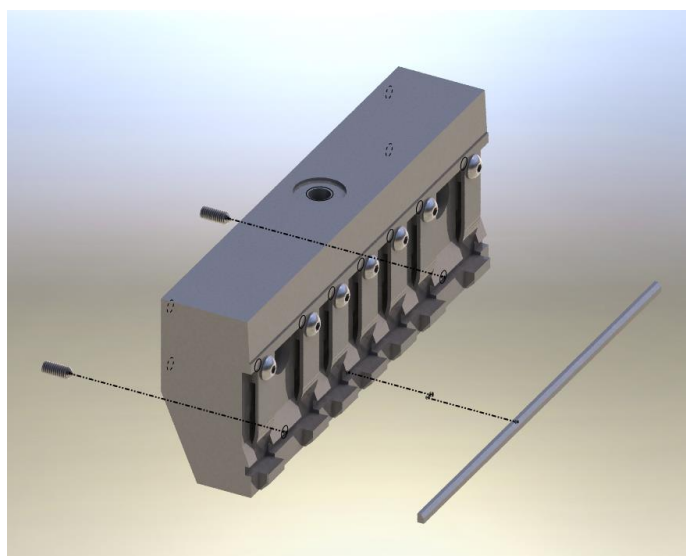


Figura 228 - Montagem dos parafusos sem cabeça e do apoio do punção no suporte

- 9- Com os parafusos M10 (3), inserir o casquilho (2), encostando-o à cabeça do mesmo (figura 229), fazer duas vezes este passo (figura 230);

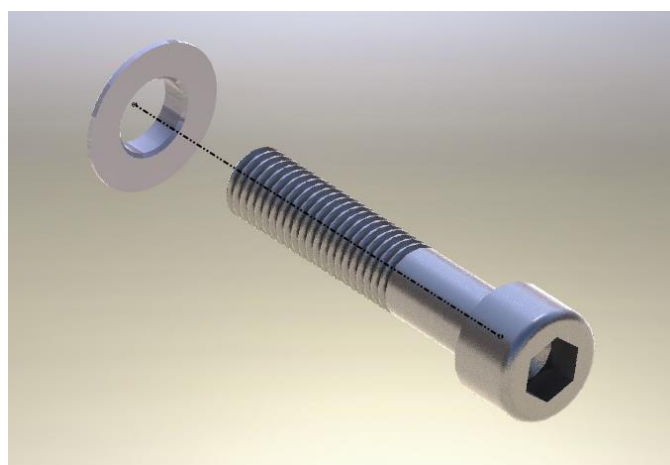


Figura 229 - Montagem dos casquilhos esféricos nos parafusos M10

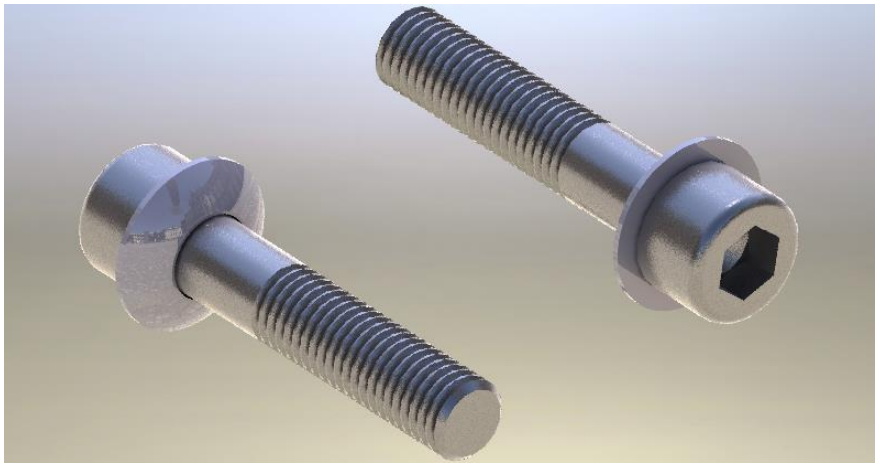


Figura 230 - Casquilhos montados nos parafusos M10

10- Colocar estes 2 parafusos (3), juntamente com os casquilhos, nas respectivas concavidades, como indica a figura 231;

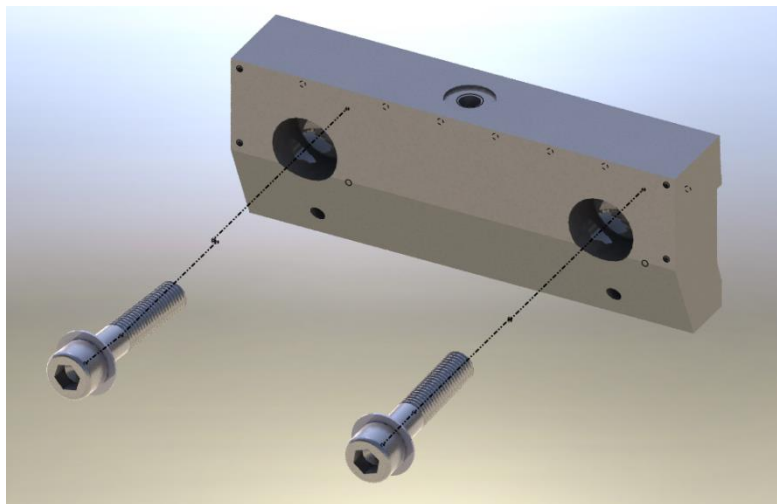


Figura 231 – Colocação dos parafusos M10 e casquilhos no suporte

11- Colocar a chapa de protecção (9) e apertar os 4 parafusos (10), como representa a figura 232;

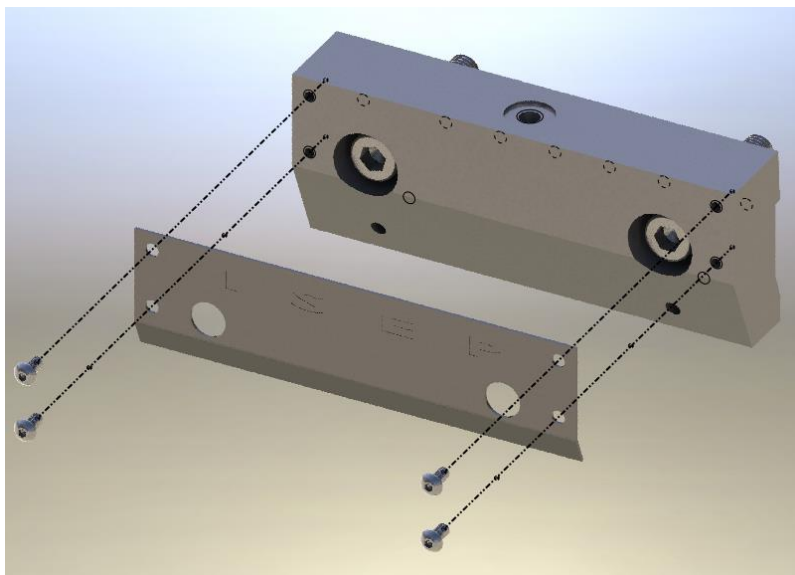


Figura 232 - Aplicação da chapa de protecção no suporte

12- Montar o conjunto da alavanca, inserindo o macho da alavanca (12) na fêmea do excêntrico (11) (figura 233);

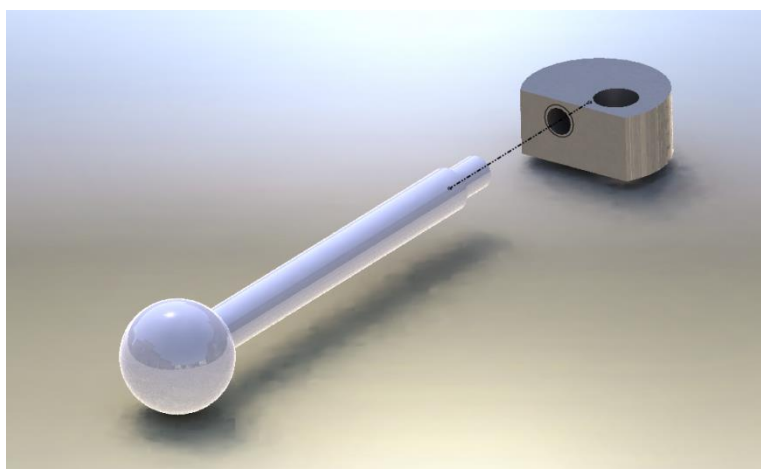


Figura 233 - Montagem da alavanca no excêntrico

13- Colocar o casquilho (13) como indica a figura 234;

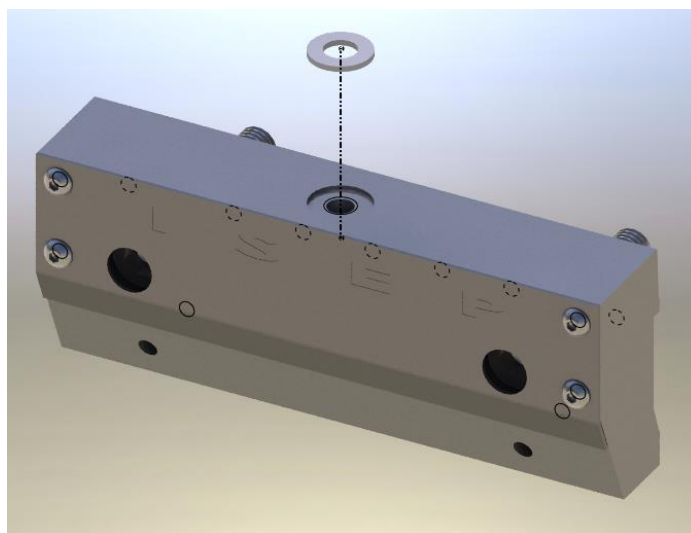


Figura 234 - Montagem do casquilho no suporte

- 14- Colocar o conjunto realizado no ponto de montagem 10, encostando-o ao casquilho (13) (figura 235);

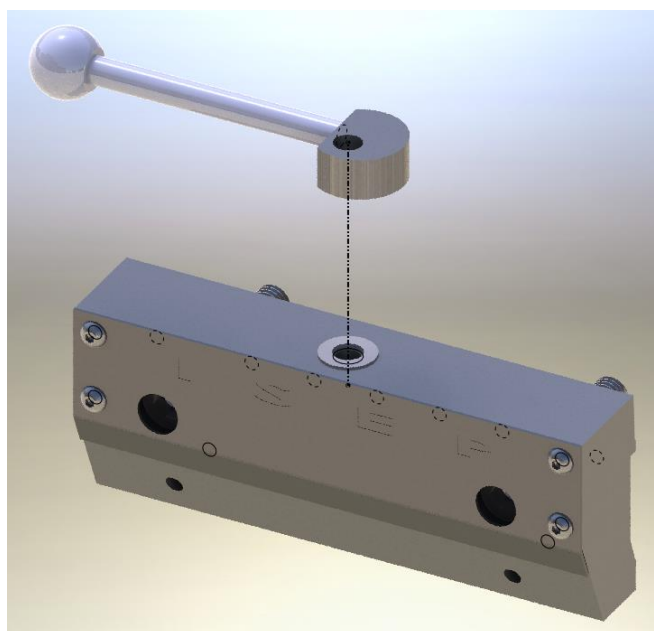


Figura 235 - Colocação do conjunto da alavanca no suporte

- 15- Colocar o parafuso (14) e apertá-lo convenientemente (figura 236);

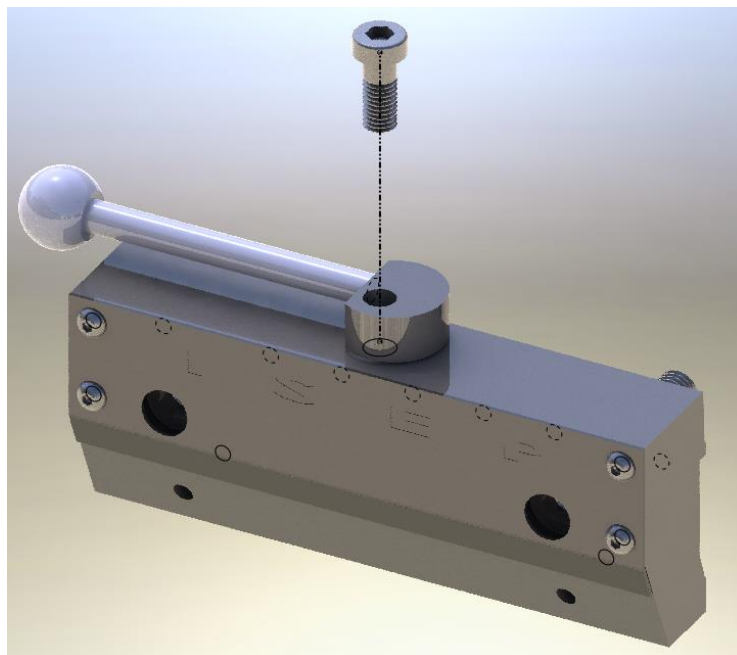


Figura 236 – Aperto do parafuso de fixação do sistema de alavanca

16- Inserir as 2 molas helicoidais (15), na zona roscada dos parafusos (3), quanto ocorrer o aperto do suporte ao intermediário (figura 237).

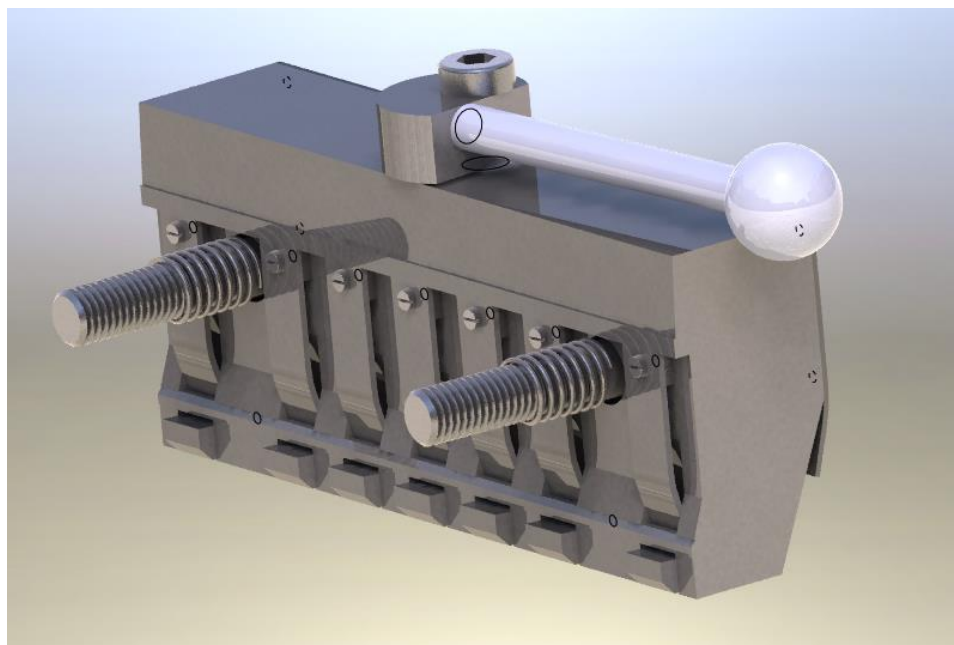


Figura 237 - Aplicação das molas helicoidais nos parafusos M10

3.8. Detalhes do processo de fabricação do protótipo

Não foi possível realizar este tópico da dissertação, pois como a empresa deixou colaborar na realização deste projecto, este tópico será realizado posteriormente à entrega e apresentação da dissertação, com vista à verificação integral do seu funcionamento, eventual aperfeiçoamento e registo da correspondente patente.

3.9. Análise funcional do protótipo

Tal como no tópico anterior, este ponto será feito posteriormente.

3.10. Orçamentação do equipamento

Na tabela seguinte é apresentado o custo dos componentes que necessitam de fabrico por maquinaria e soldadura, o custo dos componentes normalizados e, no fim, o custo total do conjunto.

Tabela 49 - Orçamentação do suporte de mola de lâmina (Francisco Silva, 2014)

Suporte mola de lâmina					
Componentes	Qt.	Custo	Componentes Normalizados	Qt.	Custo/ unidade (€)
Suporte	1	121.75 €	Casquilho	2	0.38 €
Apoio mola de lâmina	7		Parafuso ISO 4762 M10*50	2	0.26 €
Mola de lâmina	7		Parafuso ISO 4027 M4*10	2	0.12 €
Apoio suporte punção	1		Parafuso ISO 7380 M4*8	7	0.12 €
Chapa protecção	1		Parafuso ISO 7380 M4*8	4	0.12 €

Excêntrico	1		Alavanca Halder	1	3.65 €
-			Casquilho Bulte	1	0.85 €
-			Parafuso DIN 6912 M8*20	1	0.22 €
-			Mola helicoidal	2	0.14 €
Subtotal:		121.75 €	Subtotal:		7.84€
					Total: 129.59€

Na tabela 50 é apresentado o orçamento relativamente aos processos de fabrico.

Tabela 50 - Orçamentação dos processos de fabrico para o suporte de mola de lâmina
(Francisco Silva, 2014)

Processos de fabrico		
Processos	Qt. (horas)	Custo (€) / hora
Maquinagem	3.5	35.00 €
Soldadura	0.15	45.00 €
Quinagem chapa	0.05	25.00 €
Total		130.5 €

O custo total do suporte, com materiais e processos de fabrico, é de 260.09 € para a realização do protótipo. Refere-se que estes preços poderiam descer caso fossem realizados em grandes quantidades.

4. Conclusões

O sistema de fixação é um dos equipamentos de maior importância numa quinadora, pois é através deste que o punção fica completamente imóvel, e se pode realizar o processo de quinagem em segurança.

No início do desenvolvimento deste sistema de fixação, foram analisados vários sistemas já existentes no mercado, onde foram compreendidos como estes operam e como os seus sistemas de segurança actuam, em que os principais factores a ter em atenção, seriam quando se coloca o punção no suporte ou se desaperta, que o mesmo não caísse, podendo criar acidentes de trabalho aos operadores. O outro será, durante o funcionamento da quinadora, o punção encontrar-se completamente imóvel, garantindo a precisão requerida na quinagem.

O sistema de fixação para punções numa quinadora, projectado nesta dissertação, torna-se uma novidade no mercado nacional e internacional, pois o seu modo de funcionamento vai de encontro aos sistemas já idealizados para troca rápida de ferramentas, embora estes utilizem unicamente molas helicoidais para os movimentos dos linguetes de engate no *Safety Tang* do punção. Neste sistema foi idealizado um sistema semelhante, mas que usa molas de lâmina, onde a sua montagem no sistema é bastante mais simples. Estes sistemas de fixação rápida permitem um aumento de cadência na produção de chapas quinadas. De facto, com a diminuição acentuada na troca de ferramentas, consegue-se realizar os processos de quinagem muito mais rapidamente.

Durante o desenvolvimento do trabalho proposto foram idealizadas várias tentativas para alcançar um sistema funcional, utilizando molas de lâmina e mais tarde molas helicoidais. No fim destacaram-se três possíveis soluções que foram apresentadas à empresa, em que duas delas seriam fiáveis, do ponto de vista funcional e de processo de fabrico, mas a solução com mola de lâmina destacava-se em relação à outra, pela sua inovação. Essas duas soluções foram optimizadas, dando sempre principal atenção à segurança e a que os punções ficassem completamente fixos, quer se colocasse um punção mais pequeno ou outro de maiores dimensões. Também foi tido em conta que a força de fixação teria de ser uniforme em todo o seu comprimento, pois nos sistemas analisados, a dimensão mais comum, tanto dos intermediários como dos suportes, são os 150 mm.

Com as optimizações elaboradas, foram realizados desenhos 2D para a produção dos componentes que fazem parte do sistema global, bem como definição de todos os elementos normalizados e mais tarde os desenhos 3D, para a respectiva montagem por passos do sistema de fixação. Ainda foi realizada uma selecção de materiais para definir quais os que apresentavam melhores propriedades para cada componente e também foi definido o tolerânciamento geométrico e dimensional, para garantir que os elementos que compõem o sistema se fixariam como esperado no projecto mecânico.

Este sistema de fixação, como já foi referido anteriormente, é uma novidade no mercado, e o seu desenvolvimento permite que empresas portuguesas, que fabricam quinadoras, deixem de lado a compra destes sistemas ao estrangeiro, porque o poderão começar a fazer em Portugal, e contribuir para o desenvolvimento da economia do nosso país, porque como acontece actualmente, o dinheiro está a ser entregue aos países que produzem este tipo de sistemas e a desenvolver a economia dos mesmos. Este sistema torna-se uma mais-valia para o nosso mercado e, principalmente, para as empresas produtoras de quinadoras.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas algumas ferramentas informáticas, nomeadamente o *Solidworks*, que permitiu o desenho dos vários sistemas de fixação e, mais tarde, renderização do sistema global, dos componentes e esquema de montagem do sistema.

Para trabalhos futuros deve ser realizado um protótipo para verificar se é necessário proceder a alguma alteração no projecto mecânico e se o sistema vai de encontro ao que foi idealizado e posteriormente o sistema deve ser patenteado, pois é uma solução completamente nova. Este sistema pode e deve ser tornado o mais automatizável possível, através da adição de sistema hidráulico que permita o aperto e desaperto automático de todos os suportes ao mesmo tempo, o que irá aumentar ainda mais a cadência de produção de peças quinadas, caso haja necessidade de troca frequente de ferramentas.

5. Bibliografia e outras fontes de informação

5.1. Bibliografia

Ashby, Michael F. 2005. *Materials Selection in Mechanical Design*, 3ª Edição. Butterworth Heinemann. Cap. 5, 79-104. Cap. 6, 126-130.

Bessa Pacheco, José A. 1992. Utilização de Quinadoras e Guilhotinas (Quinagem e Corte). APTCP. 1ª Parte, 19 – 137.

Davis, Joseph R. 1988. *Forming and Forging. ASM Handbook*, Volume 14. ASM.

Dieter, George E. 1988. *Mechanical Metallurgy SI Metric Edition*. McGraw-Hill Book Company. Cap. 15, 503 – 563, Cap. 20, 651 – 678.

Fischer, Ulrich et al. 2008. Manual de Tecnologia Metal Mecânica. Editora Blucher. Cap. 4, 115-200. Cap. 5, 201-272.

Giavelli, Giuseppe Vittorio et al. 2008. *Device for locking a tool on a machine tool, particularly a plate bending press*. Patente nº EP 1884298A1. Proprietário: Teda S. R. L..

GmbH, Schuler 1998. *Metal Forming Handbook*. Springer. Cap. 4, 366-388.

Gupta, S.K. et al. 1998. *Automated Process Planning for Sheet Metal Bending Operations. Journal of Manufacturing Systems*, Vol.17/No. 5. 338 – 360.

Inc., COMEQ 2002. *Glossary of Press Brake Terminology/Technology*. 1 – 4.

Instituto Superior Técnico, 2008. Acetatos de quinagem. 1 – 37.

Kalpakjian 2003. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 4ª Edição. Prentice Hall. Cap. 7, 19 – 23, 32.

Lange, Kurt 1985. *Handbook of Metal Forming*, 1ª Edição. Society of Manufacturing Engineers. Cap. 19, 19.1 – 19.51.

Marciniak, Z., Duncan, J.L. and Hu, S. J. 2002. *Mechanics of Sheet Metal Forming*, 2ª Edição. Butterworth Heinemann. Cap. 6, 82 – 107.

Martins, Bruno 2012. Desenvolvimento de um sistema de acionamento eléctrico aplicado a uma quinadora. FEUP. Cap. 3, 12, 14-16.

Normen, Deutsche 1975. DIN 6935.

Normen, European 1961. EN 12622.

Osman, M.A. et al. 2010. *Springback prediction in V-die bending: modelling and experimentation. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.* Volume 38, Issue 2. 179 – 186.

Rolleri SpA 2012. Catálogo Rolleri.

Sandvik Coromant, 2005. Manual Técnico de Usinagem.

Shigley, Joseph E. 2005. Projecto de Engenharia Mecânica, 7ª Edição. Artmed Editora. Parte 3, Cap. 10, 489 – 533.

Silva, Francisco 2007. Apontamentos Processos de Fabrico I – Soldadura – Outros Processos de Soldadura. 1 – 24.

Silva, Francisco 2007. Apontamentos Processos de Fabrico II – Maquinagem – Fresagem. 1 – 27.

Silva, Francisco 2014. Apontamentos Processos de Ligação – Soldadura – Soldadura Laser e por Feixe de Electrões. 1 – 40.

Simões Morais, José Manuel 2006. Desenho Técnico Básico 3, 23ª Edição. Porto Editora. 1 – 301.

Soares, Pinto 1992. Aços – Características tratamentos, 5ª Edição. Publindústria. Cap. 6, 91-92.

SSAB, Swedish Steel 1998. *Sheet Metal Forming Handbook.* SSAB Tunplatt AB. Cap. 4, 4:1 – 4:26, Cap. 6, 6:1 – 6:23, Cap.7, 7:1 – 7:5.

Tschaetsch, Heinz 2006. *Metal Forming Presses.* Springer. Cap. 16, 194 – 211.

Vilaça, Armando 2012. Apontamentos Mecânica dos Materiais. 4 – 39.

5.2. Outras fontes de informação

Ama-prom. Informações sobre quinagem e durezas para ferramentas de quinagem. [Online] [Consulta: 03 de 07 de 2014.] <http://www.ama-prom.fi/en/bending-tools.php>

Anak. Ferramentas de quinagem. [Online] [Consulta: 28 de 09 de 2014.] http://www.anak.biz/sites/anak/uploads/2011/03/23/86b85c9be_press_brake_tools1.jpg

Custompartnet. Quinadora. [Online] [Consulta: 27 de 09 de 2014.] <http://www.custompartnet.com/wu/images/sheet-metal/press-brake.png>

Directindustry. Quinadora hidráulica com CNC. [Online] [Consulta: 19 de 10 de 2014.] http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/brake-presses-cnc-111195-4107309.jpg

Einforma. Informações sobre a empresa RICO – Tomás Castro e Silva. [Online] [Consulta: 15 de 07 de 2014.] http://www.einforma.pt/servlet/app/portal/ENTP/id_sess/00779253472001193625360000038351/prod/ACCESO_INFORME/carrito/1/producto/907/nombreInforme/EIOFERTA/vat/500626960/nif/500626960/duns/450420021/newreg/1/

Frecontechnologies. Peça obtida por quinagem. [Online] [Consulta: 03 de 09 de 2014.] <http://www.frecontechnologies.com/Portals/0/images/bending1.jpg>

Grabcad. Sistema de fixação com intermediário. [Online] [Consulta: 13 de 08 de 2014.] <https://grabcad.com/library/press-brake-clamp-with-screw-1>

Gstatic. Matriz de “V” múltiplos. [Online] [Consulta: 28 de 09 de 2014.] <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRz1JAKIJazpvfruKvj7UbGSw1f19Jghx2ZqzljG0MCAumuKkwgzA>

HPC Europe. Casquilho esférico. [Online] [Consulta: 03 de 04 de 2014.] <http://www.hpceurope.com/cat13HPC/HPC-T3-2013-LinearGuidanceParts-GB.pdf>

Infoempresas. Informações sobre a empresa RICO – Tomás Castro e Silva. [Online] [Consulta: 15 de 07 de 2014.] http://www.infoempresas.com.pt/Empresa_TOMAS-CASTRO-SILVA.html

Norelem. Alavanca normalizada. [Online] [Consulta: 18 de 06 de 2014.] http://www.norelem.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/DataSheet/en/06/06342_Datasheet_3595--en.pdf

Rolleri 1. Intermediário montado no avental e Sistema de fixação. [Online] [Consulta: 03 de 09 de 2014.] http://www.rolleri.it/page/daten/files/Erlaeuterungen/_EN/big.Klemmungen.jpg

Rolleri 10. Sistema *Movable die clamps*. [Online] [Consulta: 10 de 07 de 2014.] <http://www.rolleritools.com/mod/Rolleri+Clamping+Systems/Movable+Die+Clamps-GB.htm?id=2135>

Rolleri 2. Suporte com faixa de pressão em plástico. [Online] [Consulta: 03 de 09 de 2014.] <http://www.rolleri.it/mod/Rolleri+Clamping+Systems/Clamps-GB.htm?id=2121>

Rolleri 3. Sistema standard. [Online] [Consulta: 10 de 07 de 2014.] <http://www.rolleritools.com/mod/Rolleri+Clamping+Systems/Clamps-GB.htm?id=2121>

Rolleri 4. Sistema rápido ROL100. [Online] [Consulta: 10 de 07 de 2014.] <http://www.rolleritools.com/mod/Rolleri+Clamping+Systems/ROL100-System+for+Punches-GB.htm?id=2123>

Rolleri 5. Sistema rápido ROL1. [Online] [Consulta: 10 de 07 de 2014.] <http://www.rolleritools.com/mod/Rolleri+Clamping+Systems/ROL1-System+for+Punches-GB.htm?id=2125>

Rolleri 6. Sistema rápido ROL4. [Online] [Consulta: 10 de 07 de 2014.] <http://www.rolleritools.com/mod/Rolleri+Clamping+Systems/ROL4-System+for+Punches-GB.htm?id=2127>

Rolleri 7. Sistema W-ROL PN. [Online] [Consulta: 10 de 07 de 2014.] <http://www.rolleritools.com/mod/Rolleri+Clamping+Systems/W-ROL+PN+System+for+Punches-GB.htm?id=2129>

Rolleri 8. Sistema ROL3. [Online] [Consulta: 10 de 07 de 2014.] <http://www.rolleritools.com/mod/Rolleri+Clamping+Systems/ROL3-System+for+Punches-GB.htm?id=2131>

Rolleri 9. Sistema ROL2 (fixação de matrizes) [Online] [Consulta: 10 de 07 de 2014.] <http://www.rolleritools.com/mod/Rolleri+Clamping+Systems/ROL2-System+for+Punches-GB.htm?id=2133>

Sites.google.com 1. Matrizes para quinagem “ao ar”. [Online] [Consulta: 01 de 07 de 2014.] <https://sites.google.com/site/arsedys/arsedys/links-uteis/quinagem/processos-de-quinagem>

Sites.google.com 2. Matrizes para quinagem “a fundo”. [Online] [Consulta: 01 de 07 de 2014.]
<https://sites.google.com/site/arsedys/arsedys/links-uteis/quinagem/processos-de-quinagem>

Spoonworld. Peça obtida por quinagem. [Online] [Consulta: 03 de 09 de 2014.]
http://www.spoonworld.com/flying/sherwood/02_make_kit/uchan_03.jpg

Teda. Funcionamento sistema de fixação da Teda. [Online] [Consulta: 04 de 09 de 2014.]
<http://www.teda.eu/index/prodotti/show/tools-quick-change-on-press-brakes/speed-grip-manual-2011-03-23.html>

Westbrook-eng. Punção *Wila Safety Click*. [Online] [Consulta: 30 de 09 de 2014.]
<http://westbrook-eng.com/images/new/Wila/Wila-Safety-Click.jpg>

Wila 1. Mesa de bombeio. [Online] [Consulta: 09 de 07 de 2014.]
<http://www.wila.nl/Crowning.aspx?GB-1-18-0-0-0>

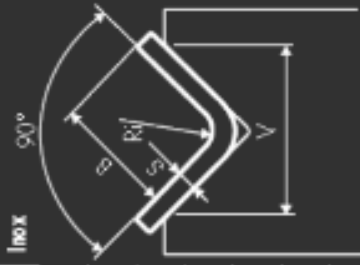
Wila 2. *New Standard Premium*. [Online] [Consulta: 15 de 07 de 2014.]
<http://www.wila.nl/Product-information.aspx?GB-1-17-56-88-0>

Wila 3. *New Standar Pro Clamping System*. [Online] [Consulta: 15 de 07 de 2014.]
<http://www.wila.nl/Product-information.aspx?GB-1-17-140-192-0>

ANEXO I

Tabela quinagem

		42 kg/mm ²																			
S	mm	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	V
		3	3,5	4	5,5	6,5	8	10,5	13	16,5	21	26	32,5	41	52	65	81,5	104	130	163	B
		0,5	0,7	0,8	1	1,3	1,5	2	2,5	3,2	4,4	5	6,5	8	10	12	15	20	25	37	Ri
0,6	6	5	3	2																	
0,8	12	9	7	5	4																
1	15	11	8	6	5																
1,2	18	12	9	7	5																
1,5	21	15	12	8	6																
2	30	23	16	12	9																
2,5	39	27	20	14	11																
3	43	31	23	16	12																
4	60	44	32	23	18																
5	76	54	39	29	22																
6	85	62	45	33	25																
8	121	88	70	46	35																
10	151	109	79	58	44																
12	173	124	91	66	50																
15	INDEX - stainless steel R=70 kg/mm ² Ion x 1,7	213	155	113	81	62															
20	AL - aluminium R=20 kg/mm ² Ion x 0,5	302	220	158	115	89															
25	[R = tensile strength]	378	269	197	144	109															



ANEXO II

Desenhos suporte_5 – mola de lâmina

ANEXO III

Desenhos suporte_3 – mola helicoidal

ANEXO IV

Desenhos suporte_5 – mola helicoidal

ANEXO V

Desenhos 2D – Sistema de fixação de mola de lâmina

ANEXO VI

Comprovativo de conferência técnica BS'14



André Ferreira <andremanuel15@gmail.com>

State of the paper submission to BS2014

1 message

Paulo Avila <psa@isep.ipp.pt>

Sat, Oct 4, 2014 at 12:43 PM

To: francisco.silva@eu.ipp.pt, andremanuel15@gmail.com, raulcampilho@gmail.com

Dear authors

It is our pleasure to inform you that your Abstract: DEVELOPING INNOVATIVE TOOL HOLDER SYSTEMS FOR PRESS-BRAKE MACHINES, has been accepted for presentation on the conference and in conference proceedings book.

You will have the opportunity to revise your paper and submit it after the conference. Please consult key dates page on the conference web page.

The revisions will be available for accessing after closing the new submission date.

Hope to see you soon, best regards,

Paulo Ávila

Co-chair of BS2104

Fourth International Conference on

(05-07 nov. of 2014)

<http://2100projects.org/conferences/bs14/>

