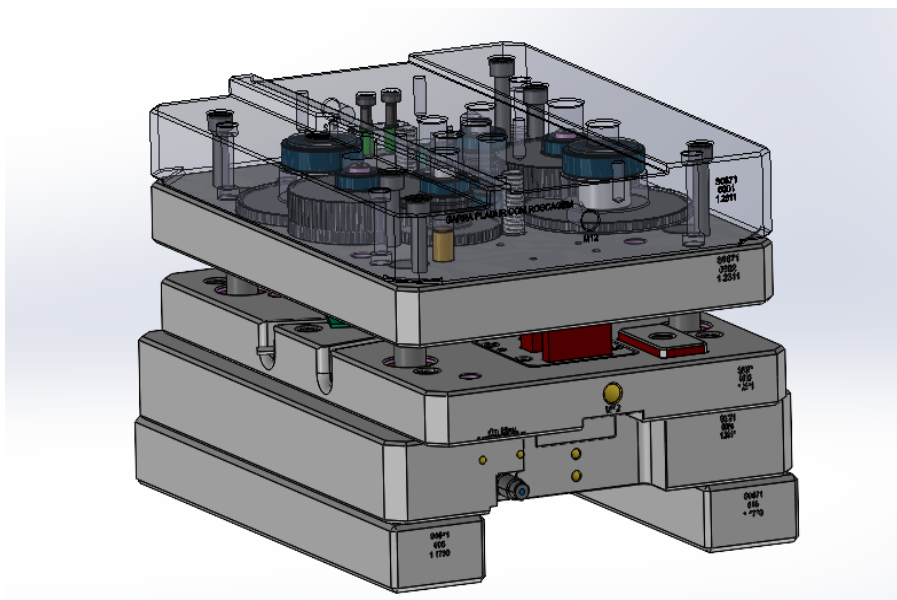


INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica



Desenvolvimento e avaliação de uma ferramenta progressiva de corte e estampagem, com sistema de roscagem, para a produção de componentes do setor elétrico

JOSÉ MARIA ANDRADE GIL BORGES DE CASTRO
(Licenciatura em Engenharia Mecânica)

Trabalho de projeto para obter o grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão

Júri:

Presidente: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Vogais:

Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão

Doutor Rui Manuel Ferreira Leal

Novembro de 2023



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

**Desenvolvimento e avaliação de uma ferramenta
progressiva de corte e estampagem, com sistema de
roscagem, para a produção de componentes do setor
elétrico**

JOSÉ MARIA ANDRADE GIL BORGES DE CASTRO
(Licenciatura em Engenharia Mecânica)

Trabalho de projeto para obter o grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão

Júri:

Presidente: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Vogais:

Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão

Doutor Rui Manuel Ferreira Leal

Novembro de 2023

Agradecimentos

Quero agradecer primeiramente ao Prof. Dr. Ivan Galvão, por ter aceitado ser meu orientador neste projeto que me é bastante pessoal e desafiante.

Agradeço à empresa JSL – Material Elétrico, por aceitar o desenvolvimento deste projeto entre paredes, que o financiou e disponibilizou recursos humanos, acreditando na concretização do mesmo. Também a todos os meus colegas de trabalho, que se mostraram sempre disponíveis tanto a dar a sua opinião, como no auxílio em várias tarefas. Em particular, um especial agradecimento ao meu colega Eng. Samuel Couceiro por todas as ideias, pela presença e auxílio nos ensaios e ao meu colega Eng. Élio Lopes pela colaboração no desenvolvimento da componente elétrica presente neste projeto.

Por fim, agradeço também à minha mulher e à minha família, pelo reconhecimento e motivação que me deram ao longo deste ano de trabalho.

Resumo

A utilização de ferramentas de corte progressivo tem vindo a aumentar exponencialmente pois são ferramentas capazes de produzir uma grande quantidade de componentes num curto período de tempo. Outra grande vantagem é a sua versatilidade, pois são ferramentas que se adaptam facilmente a qualquer máquina, sendo então possível dispor apenas de uma só máquina para a utilização de várias ferramentas.

A empresa JSL – Material Elétrico tem tido, ao longo dos últimos 5 anos, um aumento de vendas no que diz respeito às caixas de aparelhagem para pladur. Os componentes metálicos nela inseridos, denominados por garra de pladur, são produzidos de uma forma trabalhosa e com custos excessivos. A necessidade de melhoria deste processo tem vindo a ser demonstrada com a necessidade de uma maior produção.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar uma ferramenta de corte progressivo capaz de produzir roscas integralmente, com base numa só operação. O processo tem como finalidade aumentar a produção de um componente metálico que pertence a uma caixa de aparelhagem para paredes de pladur. Anteriormente, era produzido através de estampagem e de uma roscagem independente com uma cadência de cerca de três vezes menos relativamente à ferramenta de corte.

Utilizando uma só ferramenta de corte capaz de efetuar rosca internamente, tornou possível o aumento a produção desta peça. Desenvolveu-se a ferramenta com a sequência de operações com base na ferramenta utilizada anteriormente. Aplicou-se uma caixa de engrenagens, com base em dois fusos, que transmitem rotação aos machos. A ferramenta, ao fechar, os machos rodam no sentido dos ponteiros do relógio (atarraxar) e, ao abrir, rodam no sentido oposto para desatarraxar. Após uma série de melhorias ao projeto, realizaram-se diversas produções já com rosca. Assim, a produção diária alterou de 30000 para 115200 unidades. É de extrema importância, referir que os custos diminuíram, dado ter-se passado a utilizar apenas uma máquina.

Palavras-chave: Corte progressivo, punção/matriz, estampagem, roscagem, prensa mecânica

Abstract

The use of progressive cutting tools has been increasing exponentially as they are tools capable of producing a large quantity of components in a short period of time. Another great advantage is their versatility, as they are tools that easily adapt to any machine, making it possible to have just one machine to use several tools.

Over the last 5 years, the company JSL – Material Eléctrico has seen an increase in sales in terms of drywall equipment boxes. The metallic components inserted into it, called garras de pladur, are produced in a laborious and expensive way. The need to improve this process has been demonstrated with the need for greater production.

This work aimed to develop and evaluate a progressive cutting tool capable of producing threads entirely, based on a single operation. The purpose of the process is to increase the production of a metallic component that belongs to a device box for drywall walls. Previously, it was produced through stamping and independent threading with a rate of around three times less compared to the stamping tool.

Using a single stamping tool, capable of internally threading, production will increase by approximately three times. The tool was developed with the sequence of operations based on the previously used tool. A gearbox was applied, based on two spindles, which transmit rotation to the taps. The tool, when closing, the taps turn clockwise (screwing) and, when opening, they turn in the opposite direction to unscrew. After a series of improvements to the project, several productions were carried out with threads. Thus, daily production changed from 30,000 to 96,000 units. It is extremely important to note that costs have decreased, as only one machine is used.

Keywords: Progressive blanking, punch/die, stamping, threading, mechanical press

Lista de Abreviaturas/Siglas

AENOR – Associação Espanhola de Normalização e Certificação

CE – Certificação Europeia

EAC – *EuroAsian Conformity*

HRC – *Hardness Rockwell C Scale*

HSS – *High Speed Steel*

IP – Índice de Proteção

NF – Norma Francesa

PVC – *Polyvinyl Chloride*

UPM – *Umdrehung Pro Minute*

VDE – *Verband Deutscher Elektrotechnike*

LED – *Light Emitting Diode*

Índice de Figuras

Figura 1 – Caixas de aparelhagem para pladur: (a) Garras em posição de aperto; (b) Garras em posição fechada para instalação e (c) Caixa de aparelhagem fixa na parede através das garras de pladur.	2
Figura 2 – Estrutura da empresa JSL.	3
Figura 3 – Departamento de Injeção da empresa JSL.	4
Figura 4 – (a) Caixas de derivação Boxline; (b) Ficha industrial trifásica 16A e (c) Caixas de derivação antifogo.	4
Figura 5 - Caixa de Derivação com marcações de Normas CE, Kemakeur e índice de Proteção IP.	7
Figura 6 - Constituição de uma prensa mecânica. Adaptada [1].	9
Figura 7 - Constituição de uma prensa hidráulica. Adaptada [6].	10
Figura 8 - Banda metálica: (a) Em latão; (b) Em aço inoxidável.	11
Figura 9 – Ferramenta de corte progressivo: Parte superior e inferior.	12
Figura 10 – Sistema convencional de corte por punção e matriz.	12
Figura 11 – Geometria de diferentes tipos de pilotos [13].	13
Figura 12 – Exemplo de folga e posição de um piloto ao penetrar a fita.	13
Figura 13 – Diferença entre a distância correta e incorreta entre furos numa banda/fita cortada por arrombamento [1].	14
Figura 14 – Comparação entre: a) Corte de desperdício e b) Corte de uma peça [1].	14
Figura 15 – Localização da rebarba com posicionamentos diferentes: a) Punção movimentada de cima para baixo e b) Matriz movimentada de cima para baixo [1].	15
Figura 16 – Três estágios de corte: Deformação; Penetração e Fratura [5].	16
Figura 17 - Operação de dobragem: a) Peça antes e depois da dobragem; b) Início da operação de dobragem e c) Fim da operação de dobragem [3].	17
Figura 18 – Operação de estampagem: a) Diferença entre a peça inicial e a peça final; b) Ferramenta no estado inicial (aberta) e c) Ferramenta no final da estampagem (fechada) [3].	18
Figura 19 – Diferenças estruturais nas ferramentas de corte progressivo: a) Punção e matriz; b) Punção, matriz e guiamento e c) Punção, matriz, guiamento e placa calcante [4].	19
Figura 20 - Aplicação da folga. Adaptada [3].	19
Figura 21 – Constantes utilizadas para o cálculo da folga [3].	20

Figura 22 - Verificação da zona mais afetada no punção durante o corte: a) Tensão máxima e b) Deslocamento máximo [9].....	21
Figura 23 - Mapa de deformação ao longo do punção [10].	22
Figura 24 – Produção de uma peça em duas operações: a) Vista isométrica da peça e b) Conjunto de operações para produção da peça [11].....	22
Figura 25- Garra de pladur.....	23
Figura 26 - Desenho técnico da Garra de Pladur.	24
Figura 27 - Matéria-prima: a) Bobina de matéria-prima e b) Secção transversal da matéria-prima.	24
Figura 28 - Esquema representativo da sequência de operações para produção da garra de pladur.	27
Figura 29 - Alimentação automática utilizada na prensa Emil Linde 45.	28
Figura 30 - Curso de uma ferramenta: a) Ponto morto inferior; b) Ponto médio e c) Ponto morto superior.....	29
Figura 31 – Equipamentos de lavagem: a) Tina de lavagem das peças e b) Equipamento de secagem.	30
Figura 32 - Sistema de roscagem independente.	31
Figura 33- Painel vibratória.....	31
Figura 34- Calha de deslizamento, sensores e zona de roscagem: a) Calha de deslizamento com sensor e b) Zona de roscagem.	32
Figura 35- Motor elétrico e respetivo quadro elétrico.....	33
Figura 36 - Máquina de lavar e separação de limalhas.	33
Figura 37 - Prensa mecânica para acoplamento de ferramenta de corte progressivo.	34
Figura 38 - Constituição de uma prensa mecânica.....	35
Figura 39 - Distância entre punções e matéria-prima.	36
Figura 40 - Rolos de alimentação automática.	36
Figura 41 - Matrizes para os furos redondos a roscar.	41
Figura 42 – Punção de compra em HSS norma DIN 9861.	41
Figura 43 - Postiço guia com um punção inserido.	42
Figura 44 - Tolerâncias dimensionais da matéria-prima.	44
Figura 45- Banda metálica inicial com implantação das peças.	44
Figura 46- Matrizes dos 4 estágios apresentados.	45

Figura 47 – Zona 1 da ferramenta.....	46
Figura 48 - Zona 2 da ferramenta.....	46
Figura 49 - Zona 3 da ferramenta.....	47
Figura 50 - Zona 4 da ferramenta.....	47
Figura 51 – Características geométricas do fuso: a)Passo e b) Inclinação das espiras.....	48
Figura 52 – a) Caixa de engrenagens vista de topo e b) Caixa de engrenagens vista de baixo.	49
Figura 53 – Sistema de engrenagens com medidas: a)Vista de topo e b) Vista de baixo.....	49
Figura 54 – Pares de engrenagens.....	50
Figura 55 – Placas de aço 1.2311.....	54
Figura 56 – Maquinação da caixa de engrenagens.....	55
Figura 57 – Rebarba proveniente da roscagem: a) Rebarba na face inferior da peça e b) Rebarba na face superior da peça.....	56
Figura 58 – Punção piloto aplicado na ferramenta.....	57
Figura 59 – Calcadores: a) Desenho do calcador visto de perfil; b) Dimensões da zona maquinada do calcador e c) Calcador maquinado já aplicado na ferramenta.....	58
Figura 60 – Placa guia com os postigos acoplados.	59
Figura 61 – Ajuste entre o punção e o postigo de guiamento.....	59
Figura 62 – Tipos de saídas de matrizes.	60
Figura 63 – Depósito de óleo: a) Zona A e B do sistema de lubrificação dos machos e b) Depósito de óleo já maquinado e montado.	61
Figura 64 – Zonas de aplicação de sensores.	62
Figura 65 – Primeiro sensor: a) Sistema de paragem da máquina projetado e b) Punções de deteção já maquinados e montados.....	62
Figura 66 – Sensores para os machos: a) Sensores na zona de deteção dos machos e b) Zona de aperto dos sensores.	64
Figura 67 – Quadro elétrico com sensores.....	65
Figura 68 – Separador de peças: a) Separador impresso em impressora 3D; b) Separador e respetivos tubos já montados.	66
Figura 69 - Resultados do primeiro ensaio: a) Fuso danificado ainda na ferramenta; b) Fuso danificado após abertura da ferramenta e c) Casquilho danificado.....	67
Figura 70 – Zonas de assentamento dos rolamentos defeituosas.	68

Figura 71 – Zona da rosca vista em corte: a) Rosca defeituosa e b) Rosca bem formada.....	69
Figura 72 - Diferentes punções utilizados na ferramenta.....	72
Figura 73 – Tipos de matrizes utilizadas: a)Tipo desaiída da matriz utilizada anteriormente e b) Tipo de saída da matriz após ensaios.....	72
Figura 74 – Depósito de óleo adicional e electroválvula.....	73
Figura 75 - Rebarba na face superior da garra.....	74
Figura 76 - Defeito no punção que origina a rebarba.....	75
Figura 77 – Punção com alteração de geometria.....	76
Figura 78 – Diferenças entre o processo antigo e o processo novo de produção.....	77
Figura 79 – Punção com rebaixo na zona da rosca.....	77

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Grau e proteção IP.....	8
Tabela 2 - Composição química e propriedades mecânicas de um lote da matéria-prima.	25
Tabela 3 - Dados de produção da prensa.	29
Tabela 4 - Tempo de produção da ferramenta de corte progressivo para um lote de 6000 unidades.....	38
Tabela 5 - Tempo de roscagem de duas máquinas de roscar para um lote de 6000 unidades.	38
Tabela 6 – Tolerâncias de ajuste H7. Adaptada [4].	43
Tabela 7 - Engrenagens e os seus perímetros.....	50
Tabela 8 – Velocidade de rotação das engrenagens.....	53
Tabela 9 – Tratamentos térmicos.	57
Tabela 10 - Características sensor OMRON para os punções dos furos.....	63
Tabela 11 - Características sensores HASCO zona B	63
Tabela 12 – Características das molas utilizadas nos machos.....	70
Tabela 13 - Custo da energia elétrica por hora nos equipamentos.	79
Tabela 14 – Custos corte/estampagem da ferramenta antiga por 1000 unidades.	80
Tabela 15 - Custos da 1ª lavagem por 1000 unidades.....	81
Tabela 16 - Custo da roscagem por 1000 unidades.....	81
Tabela 17 - Custos da 2ª lavagem por 1000 unidades.....	81
Tabela 18 – Custos de estampagem da ferramenta nova por 1000 unidades.	82
Tabela 19 - Balanço dos custos de ambos os processos.....	82
Tabela 20 – Análise do tempo de produção.	83

Índice

1. Introdução.....	1
2. A Fábrica: JSL – Material Elétrico.....	3
3. Estado da Arte.....	6
3.1. Evolução do Material Elétrico.....	6
3.2. Processo de corte por arrombamento e sua evolução	8
3.3. Estudos científicos recentes sobre corte por arrombamento.....	20
4. Descrição do componente	23
4.1. Geometria do componente.....	23
4.2. Características da matéria-prima	24
4.3. Características da rosca.....	25
5. Descrição do processo de fabrico.....	27
5.1. Método de produção anterior.....	27
5.1.1. Produção da garra de pladur sem rosca	27
5.1.2. Lavagem, secagem e embalamento	29
5.1.3. Roscagem independente.....	30
5.1.4. Lavagem, secagem e embalamento	33
5.2. Características e descrição da prensa.....	34
5.3. Lubrificantes e Líquidos de limpeza.....	37
5.4. Limitações deste processo	38
6. Desenvolvimento da ferramenta de corte progressivo com roscagem	40
6.1. Seleção de materiais	40
6.1.1. Punções e matrizes maquinados	40
6.1.2. Punções e pilotos de compra.....	41
6.1.3. Postiços	41
6.1.4. Placas estruturais	42
6.2. Tolerâncias e ajustamentos.....	42

6.3.	Dimensionamento da ferramenta.....	44
6.4.	Caixa de engrenagens.....	48
6.4.1.	Passo do macho.....	49
6.4.2.	Intervalo da velocidade de corte dado pelo fabricante	52
6.5.	Placas estruturais	54
6.6.	Punções, pilotos e calcadores	55
6.6.1.	Punções.....	55
6.6.2.	Pilotos	57
6.6.3.	Calcadores.....	57
6.7.	Guiamento	58
6.8.	Matrizes	59
6.9.	Depósito de óleo	61
6.10.	Sensores	61
6.10.1.	Zona A.....	62
6.10.2.	Zona B.....	63
6.11.	Quadro elétrico	64
6.12.	Separação de peças	65
7.	Problemas e melhorias.....	67
7.1.	Assentamento de dois rolamentos mal definido.....	67
7.2.	Rosca mal formadas devido à utilização de molas não apropriadas	69
7.3.	Operação de corte e chanfros em separado	71
7.4.	Matrizes com saída incorreta	72
7.5.	Sistema de adição de óleo.....	73
7.6.	Punções de corte das figuras dimensionados incorretamente	74
7.7.	Punções das figuras esmagam a rosca existente	76
8.	Análise de custos e benefícios.....	78
8.1.	Análise do custo de produção	78

8.2.	Análise do tempo de produção	82
9.	Conclusões.....	84
9.1.	Propostas de trabalho futuro.....	85
	Referências Bibliográficas.....	86

1. Introdução

O processo de corte por arrombamento, com utilização de ferramenta progressiva, tem uma vasta disseminação industrial. Aplica-se, essencialmente, a componentes produzidos em série e que apresentam um baixo custo de venda, sendo essencial tratar-se de um processo rentável. O passar dos anos e o conseqüente aumento do custo de mão de obra fez com que os processos de fabrico fossem adaptados, principalmente, para produtos que necessitam de várias etapas de produção. Cada vez é mais utilizado o sistema de roscagem incorporado em ferramentas de corte/estampagem. Estes equipamentos são sistemas externos que se acoplam às ferramentas produzidas especificamente com esse propósito. Este mecanismo é composto por uma cabeça de roscar que irá adquirir rotação através do movimento da prensa (atarraxar e desatarraxar).

Um dos componentes produzidos pela empresa JSL, que atua no setor de material elétrico desde a década de 70, é uma peça em aço zincado, que faz parte de uma caixa para aparelhagem para paredes de pladur. Esta peça denomina-se garra de pladur. Este produto é produzido para a aplicação de interruptores ou tomadas monofásicas, essencialmente na área doméstica. Essa peça, denominada por garra de pladur, tem como função garantir o aperto dessa mesma caixa à parede através do auxílio de um parafuso a ela acoplado. A sua produção consiste em quatro etapas, em que a primeira é o corte progressivo, sendo seguida da primeira lavagem. A terceira etapa é a roscagem do componente, necessitando, posteriormente, de outra lavagem.

Este componente foi desenvolvido como meio de fixação das caixas de aparelhagem para paredes de pladur, onde se colocam tomadas ou interruptores. Uma parede de pladur é oca no seu interior. Não é possível efetuar um enchimento como meio de fixação e também não é viável a sua fixação com parafusos diretamente ao pladur. Na figura 1a, pode-se observar as duas garras de pladur salientes à caixa já em posição de aperto. A caixa é composta por 2 parafusos que a atravessam na sua profundidade, apertando em duas garras que se irão fixar no pladur. Na figura 1b, observa-se a posição de montagem que permite uma solidez no produto, onde as garras de pladur se encontram recolhidas na caixa. O instalador, após a abertura do buraco para inserção da caixa, necessita de apertar os parafusos para ajustar as garras à zona interior do pladur, ilustrada na figura 1c. Esta forma de aperto garante não só uma perfeita fixação, como também torna bastante simples a sua montagem/desmontagem.

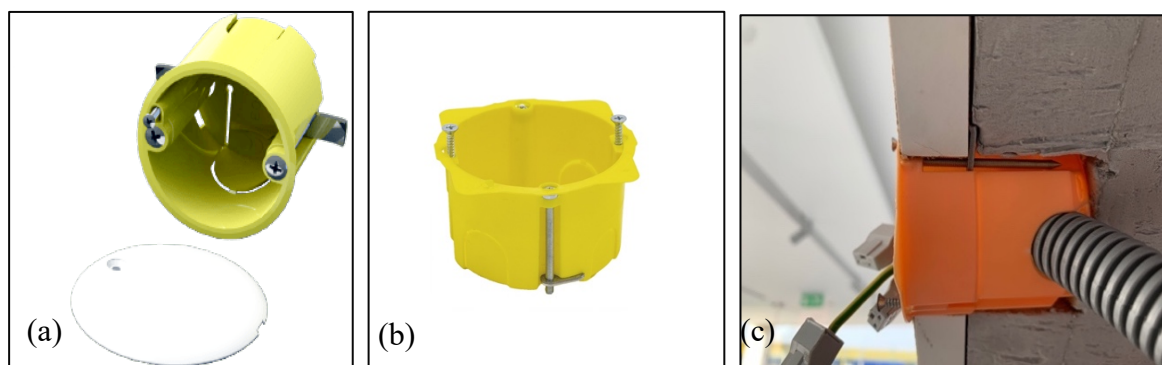


Figura 1 – Caixas de aparelhagem para pladur: (a) Garras em posição de aberto; (b) Garras em posição fechada para instalação e (c) Caixa de aparelhagem fixa na parede através das garras de pladur.

O aumento constante das vendas, levou a empresa JSL desenvolver um projeto que reduzisse o tempo total de produção deste componente. Neste sentido, surgiu o presente trabalho, cujo objetivo é desenvolver e avaliar uma ferramenta de corte progressivo capaz de produzir roscas integralmente, com base numa só operação. Com estas modificações, será necessário analisar as alterações ao custo do processo de forma a perceber se o projeto tem viabilidade.

O presente trabalho encontra-se dividido em nove capítulos. Uma vez apresentada a introdução, dá-se a conhecer a empresa onde o trabalho foi desenvolvido. De seguida, apresenta-se o estado da arte, onde se procura expor a evolução no setor de produção de material elétrico, os principais fundamentos do processo de corte por arrombamento e os desenvolvimentos recentes que têm sido alcançados nesta área tecnológica. No capítulo seguinte descreve-se a garra de pladur geometricamente, a sua matéria-prima, a roscagem e a montagem na caixa de aparelhagem. Numa fase posterior, realiza-se uma descrição detalhada do processo de produção original, seguida da descrição do desenvolvimento da nova ferramenta de corte, onde a roscagem já se encontra inserida. No capítulo sete, caracterizam-se os problemas e as melhorias implementadas ao longo deste projeto, responsáveis por corrigir algum erro ou má conceção da ferramenta de corte. Entretanto, analisam-se os custos e os benefícios do novo processo de produção face ao método utilizado anteriormente. Por fim, no capítulo nove, apresentam-se as conclusões deste trabalho e algumas propostas de trabalho futuro.

2. A Fábrica: JSL – Material Elétrico

Há cerca de 60 anos, a JSL - Material Elétrico foi fundada de forma a antecipar a procura crescente que iria haver em produtos deste ramo. De início, o foco eram as fichas, as tomadas elétricas e o equipamento de iluminação para utilização doméstica. No final dos anos 60, tendo em conta as necessidades por parte dos clientes, a JSL cria a sua primeira fábrica, onde inicia o desenvolvimento de novos produtos com base em instalações de baixa tensão. Na década de 1980, com a entrada de Portugal na União Europeia, surgiu a oportunidade de iniciar a exportação. O decorrer desta nova etapa originou a necessidade de expansão da atual fábrica, onde foram desenvolvidas novas linhas de produtos de modo a alcançar os mercados estrangeiros.

Com o passar dos anos e o desenvolvimento da tecnologia e da automação, a JSL tem vindo a adquirir máquinas para uma maior produção dos componentes. O foco tem sido a mão de obra qualificada para que haja um constante desenvolvimento da empresa. Este é o principal objetivo face a esta indústria muito competitiva, tanto em território nacional como internacional. Atualmente, a empresa consiste em cinco grandes departamentos, ilustrados na figura 2, concretamente, Injeção, Extrusão, Metais, Montagem e Manutenção.

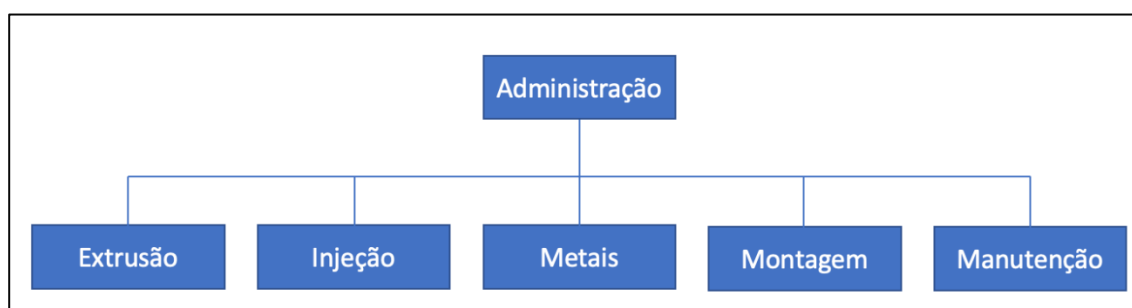


Figura 2 – Estrutura da empresa JSL.

A secção de Extrusão dispõe de cerca de 20 linhas de produção, onde se produz bobinas de tubo para passagem de cabos elétricos em interiores das paredes, tubos para o exterior de paredes e calhas técnicas com diversos tipos de aplicação. Em relação à Injeção, conta com cerca de 50 máquinas onde se produz, em grandes quantidades, todos os componentes poliméricos que não sejam extrudidos (figura 3). Esses componentes são as caixas de derivação, abraçadeiras de parede para fixação de cabos e tubos, caixas de aparelhagem para pladur e alvenaria, entre outros.



Figura 3 – Departamento de Injeção da empresa JSL.

O departamento de Metais, sendo onde se produz todos os componentes metálicos presentes nos produtos da JSL, é a secção onde se foca todo o desenvolvimento deste trabalho. Com base em ferramentas progressivas de corte e tornos automáticos, este departamento produz componentes em latão, aço galvanizado e aço inoxidável para o interior das fichas e tomadas industriais, como se pode observar na figura 4a. Produz também bornes para caixas de derivação, ligadores rígidos e multifilares, presentes na figura 4b, chapas para caixas antifogo, na figura 4c e componentes de fixação para as caixas de aparelhagem. Em relação à secção de Montagem é o espaço onde se prepara e embala todo o material para ser enviado para o cliente. É aqui que existe o contacto entre componentes plásticos e metálicos. Por fim, e para que todos os Departamentos de Produção estejam operacionais, existe a Manutenção que tem como responsabilidade atender, não só aos problemas gerais de cada departamento, mas também a uma manutenção preventiva dos mesmos, de modo a aumentar a fiabilidade de cada produção.



Figura 4 – (a) Caixas de derivação Boxline; (b) Ficha industrial trifásica 16A e (c) Caixas de derivação antifogo.

Cerca de 60 % das vendas da empresa JSL são negócios internacionais. As maiores vendas são efetuadas para a Bélgica, Holanda e Alemanha. A JSL dedica-se, essencialmente, à área das remodelações com as suas caixas de derivação e de aparelhagem, aos escritórios com as calhas técnicas compostas por tomadas e interruptores, centros comerciais com todas as caixas de derivação e fichas industriais, e às zonas subterrâneas (ex: metropolitanos), utilizando as caixas de derivação antifogo.

3. Estado da Arte

Para o desenvolvimento de um projeto de uma ferramenta de corte progressivo, destinada à produção de componentes para material elétrico, é de extrema importância a análise de literatura existente sobre o tema. No presente capítulo, é abordada a evolução do material elétrico ao longo dos anos. São, também, analisados os principais fundamentos do processo de corte progressivo e a sua evolução, pois é um tema que irá auxiliar no desenvolvimento do trabalho. Para completar este capítulo, abordam-se ainda alguns desenvolvimentos recentes realizados no processo de corte progressivo.

3.1. Evolução do Material Elétrico

A indústria de material elétrico é um setor muito competitivo e em constante desenvolvimento. Com o passar dos anos, as exigências por parte dos clientes vão mudando, sendo, então, necessário que a indústria se adapte a esta evolução. Este acompanhamento é fundamental para garantir uma posição no mercado.

No caso da garra de pladur, esta foi desenvolvido para paredes em pladur. Inicialmente, apenas existiam caixas para paredes de tijolo e betão, onde a sua fixação era o próprio betão. A evolução na construção levou, então, a que se desenvolvessem caixas de aparelhagem para pladur, onde já envolvia outro sistema de fixação com uma peça de aperto e um parafuso.

Com o aumento da mão de obra qualificada, nos últimos 20 anos, a necessidade manifestou-se, por parte dos clientes, na redução dos tempos de montagem dos equipamentos. Foram desenvolvidas soluções para estes pedidos e entre elas, encontram-se os parafusos feitos por medida com um passo de rosca três vezes maior, o que significa que o instalador apenas necessita de três vezes menos rotações para fixar uma caixa de aparelhagem. Partindo do princípio de que um instalador irá montar caixas de aparelhagem para tomadas e interruptores numa habitação e que já utiliza os parafusos referidos anteriormente, a redução no tempo de montagem será bastante significativa. Ainda com a intenção de redução do tempo na montagem dos equipamentos, o setor do material elétrico optou pela utilização de apertos rápidos nos aparelhos de manobra, tomadas e ligadores. Estes apertos rápidos, sem utilização de um parafuso, apenas dispõem de uma mola de

engate. A prisão dos fios elétricos é feita e permite ao instalador uma redução do tempo de montagem.

Com o passar do tempo, existe uma maior exigência no que diz respeito a certificações dos componentes. Essas certificações obedecem a diversas normas que garantem que o equipamento se encontra apto para o trabalho a desenvolver. Cada vez mais é exigido, por parte do cliente, que os equipamentos sejam certificados de forma a apresentar uma maior segurança. Atualmente, ao desenvolver um produto, realiza-se, em paralelo, um estudo de mercado, de modo a verificar quais as certificações necessárias, pois cada país obedece a diferentes normas. A figura 5 exemplifica uma caixa de derivação com as suas normas escritas na tampa. Para a venda na União Europeia, o certificado CE é a principal certificação a utilizar nos componentes. Outras certificações existentes, associadas a cada país, são:

- NF – Norma utilizada para o material exportado para França
- Kemakeur – Norma utilizada para o material exportado para a Bélgica
- Aenor – Norma utilizada para o material exportado para Espanha
- VDE – Norma utilizada para o material exportado para a Alemanha
- EAC – Norma utilizada para o material exportado para a Rússia



Figura 5 - Caixa de Derivação com marcações de Normas CE, Kemakeur e índice de Proteção IP.

De ano para ano, a importância dada à proteção dos componentes elétricos, tende a aumentar. Para que haja uma correta classificação dos produtos, os mesmos utilizam a norma de classes IP, isto é, Índice de Proteção. Um produto, ao ser desenvolvido, já é feito com base num Índice de Proteção pretendido. São padrões internacionais e definem-se pela norma IEC-60529 [12]. Estes mesmos padrões servem para classificar o grau de proteção dos produtos contra o contacto com partes do corpo, poeiras ou água. O grau de proteção IP é composto por dois dígitos, sendo o primeiro referente ao contacto com partículas sólidas e o segundo referente ao contacto com líquidos.

Na caixa de derivação ilustrada na figura 5, é possível visualizar-se uma certificação Kemakeur. Este produto é exportado, sobretudo, para a Bélgica, respeitando a norma aplicada neste país. Segundo a tabela 1, vê-se também que esta caixa de derivação J80 da JSL cumpre um grau de proteção IP 65, o que corresponde a uma total proteção contra pó e contra jatos de água.

Tabela 1 – Grau e proteção IP.

Grau	1º dígito	2º dígito
0	Não protegido	Não protegido
1	Objetos com diâmetro superior a 50mm	Protegido contra gotas que caiam na vertical
2	Objetos com diâmetro superior a 12,5mm	Protegido contra gotas que caiam na vertical ou inclinação até 15°
3	Objetos com diâmetro superior a 2,5mm	Protegido contra pulverização de água
4	Objetos com diâmetro superior a 1mm	Protegido contra projeções de água
5	Proteção contra pó	Protegido contra jatos de água
6	Proteção total contra pó	Protegido contra jatos potentes de água
7		Protegido contra imersão temporária em água até 1 metro por 30 minutos
8		Protegido contra imersão contínua em água
9		Protegido contra a imersão e resistente à pressão

3.2. Processo de corte por arrombamento e sua evolução

O processo de fabrico denominado por corte por arrombamento, é um processo de produção que utiliza ferramentas específicas aplicadas em prensas mecânicas ou hidráulicas para fabrico de componentes metálicos. Para definir o tipo de prensa ideal para uma ferramenta, é necessário verificar alguns aspetos. O cálculo da força total de corte para o funcionamento da ferramenta é um fator bastante importante. Ignorando este ponto, a máquina pode não ser capaz de executar o processo, chegando ao ponto de encravar a fita por não ter força suficiente para o corte. Outro aspeto importante é o dimensionamento do martelo e mesa da prensa para a ferramenta em utilização. Por outro lado, se o operador

estiver condicionado a uma prensa já existente, será preciso dimensionar ou adaptar a ferramenta em questão para essa mesma prensa [7].

Existe dois tipos de máquinas desenvolvidas para trabalhar com ferramentas de corte, denominando-se por prensa mecânica e prensa hidráulica. Uma prensa mecânica utiliza como funcionamento um sistema de biela manivela. A prensa consiste num veio que se encontra conectado ao motor elétrico através de uma embraiagem. O motor elétrico está sempre em funcionamento e, ao acionar a embraiagem, o veio da prensa iniciará a sua rotação. A esse veio está acoplado uma came que terá como função adquirir um determinado curso à máquina. Essa excentricidade é regulável, para que possa ser adaptada para cada ferramenta colocada na prensa. O curso é a distância que a ferramenta irá percorrer desde o ponto morto superior até ao ponto morto inferior. É um aspeto fundamental a ser regulável, porque cada ferramenta tem as suas características, como altura de dobragens e estampagens. A sua constituição encontra-se ilustrada na figura 6, com a respetiva identificação de cada componente [1].

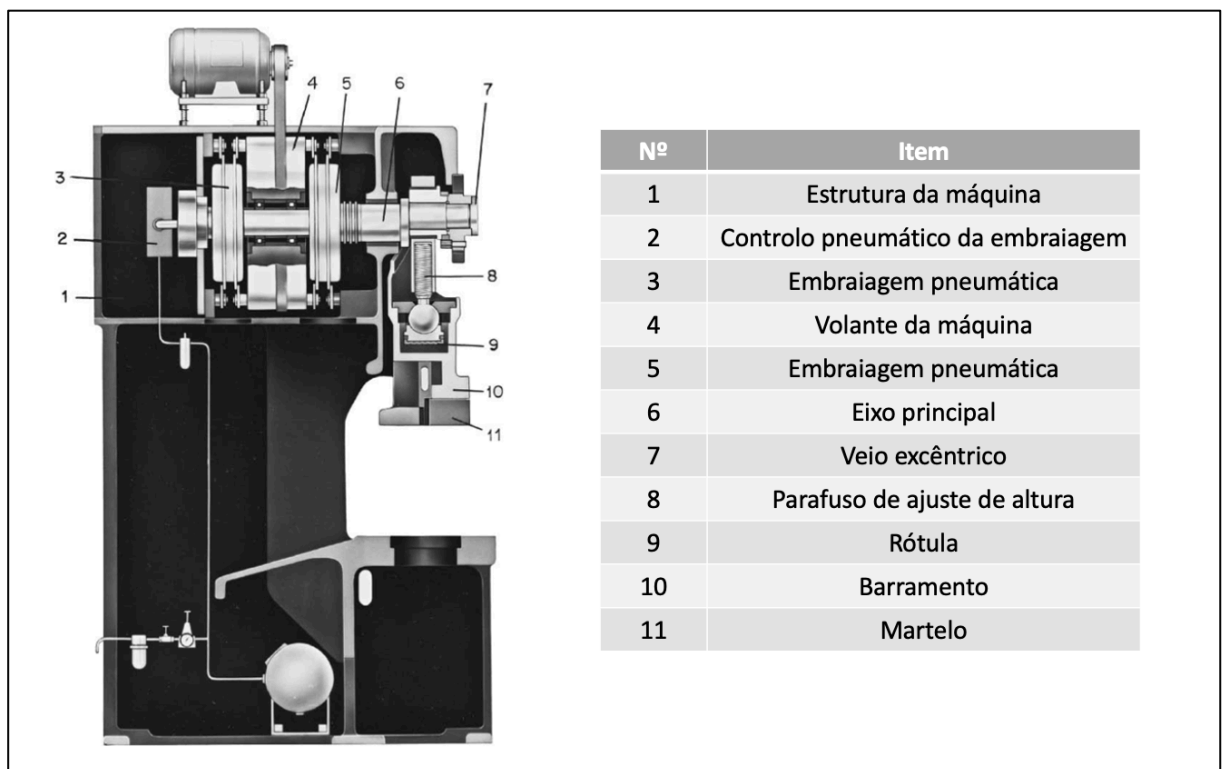


Figura 6 - Constituição de uma prensa mecânica. Adaptada [1].

No caso de uma prensa hidráulica, que se encontra ilustrada na figura 7, como o seu nome indica, a força aplicada é gerada através de uma bomba hidráulica, capaz de aplicar

mais força do que uma prensa mecânica. Este tipo de prensas tem vindo a ser cada vez mais utilizado, pois são equipamentos geralmente utilizados nos casos em que a força requerida é bastante elevada. No caso da indústria automóvel, em que existem componentes de elevada espessura e perímetro, este tipo de máquina é o mais indicado. As ferramentas para a produção desses componentes costumam ter dimensões elevadas e, dessa maneira, as prensas hidráulicas são as mais indicadas devido à elevada estabilidade a operar a ferramenta. A maior vantagem deste equipamento é toda a sua regulação disponível, que torna a máquina bastante mais versátil. É permitido aplicar cursos bastante superiores aos de uma prensa mecânica, o que faz com que seja possível alguma reparação da ferramenta ou mesmo resolver uma situação de encravamento da fita metálica, sem que seja necessário retirar a ferramenta da máquina [6].

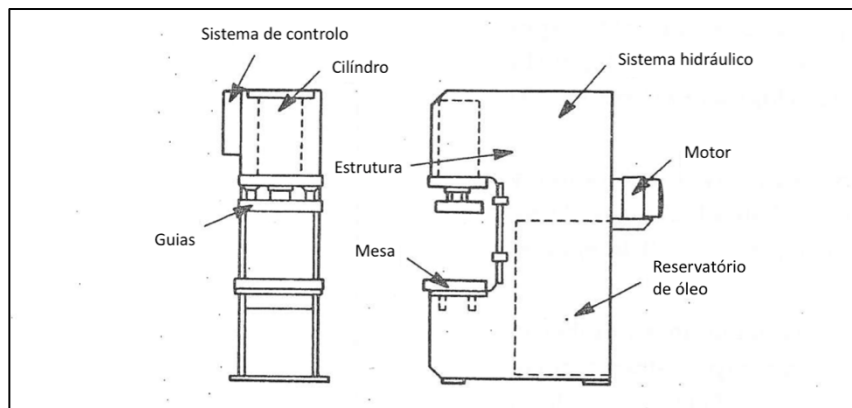


Figura 7 - Constituição de uma prensa hidráulica. Adaptada [6].

Em relação a uma ferramenta de corte progressivo, este tipo de equipamento transforma uma fita metálica em conjuntos de peças acabadas, através de cortes, quinagens e estampagens, como se pode verificar na figura 8a e figura 8b. Para isso, uma ferramenta de corte progressivo encontra-se associada a diversas operações, em que cada uma aplica uma alteração à chapa de matéria-prima. Este conjunto de operações permite a conceção de um componente passo-a-passo. O primeiro passo no planeamento de uma ferramenta de corte consiste na verificação de algumas características de projeto que irão facilitar o seu fabrico. São verificações para evitar zonas frágeis ou mesmo alguma estação que seja necessária e já não existe espaço na ferramenta. Essa análise serve para projetar o conjunto de estações necessárias para o processo e deixar sempre duas estações de reserva, para o caso de ser necessário mais alguma alteração [8].

Os materiais mais utilizados para produção de peças através deste tipo de ferramentas são o latão, aço galvanizado, aço inoxidável e alumínio. A quantidade de fita que é introduzida na ferramenta é da responsabilidade do alimentador da prensa a utilizar. Essa quantidade de fita necessária a alimentar denomina-se de passo da ferramenta. Esse fator encontra-se presente na figura 8a. Para garantir que não ocorre uma alimentação em excesso, é usual a colocação de um limitador na ferramenta, que obriga a fita a embater na posição correta. Ao ser realizada uma revolução da ferramenta, existe uma estação que realiza um rebaixo na fita com o comprimento igual ao passo da ferramenta, para que esta avance até ao batente novamente. Esse batente que é formado na fita metálica, pode verificar-se na figura 8a e 8b [1].

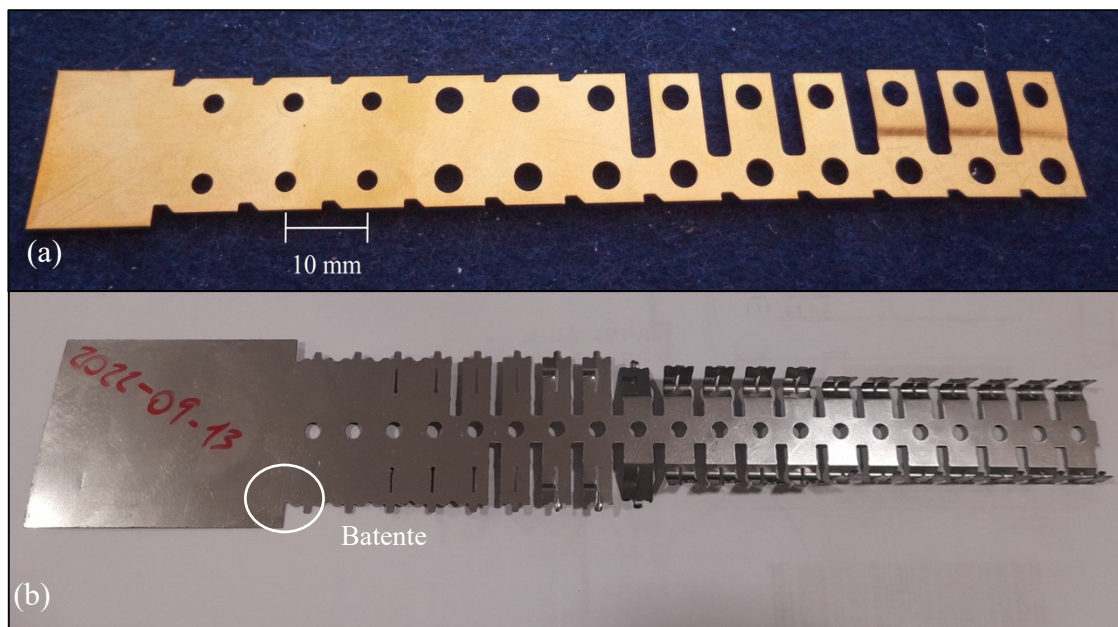


Figura 8 - Banda metálica: (a) Em latão; (b) Em aço inoxidável.

Como exemplificado na figura 9, uma ferramenta de corte progressivo consiste em duas grandes partes. A metade superior é a zona responsável pelos punções de corte, quinagem ou estampagem e pelos pilotos, que têm como função o posicionamento correto da banda metálica. A metade inferior consiste numa série de matrizes que trabalham em conjunto com os punções e pilotos existentes na metade superior.



Figura 9 – Ferramenta de corte progressivo: Parte superior e inferior.

Na figura 10 é possível observar a constituição de um sistema convencional de corte. Uma ferramenta consiste num punção, que tem como sua função o corte da banda metálica com o auxílio de uma matriz. Utiliza-se uma placa guia para garantir que o posicionamento do punção em relação à matriz é o correto. Na zona inferior das matrizes saem rombos ou peças. Considera-se um rombo, um pedaço de material que é desperdiçado para realizar a peça pretendida. A última operação é a responsável por extrair a peça, seja pelo interior da matriz ou por meio de guilhotina.

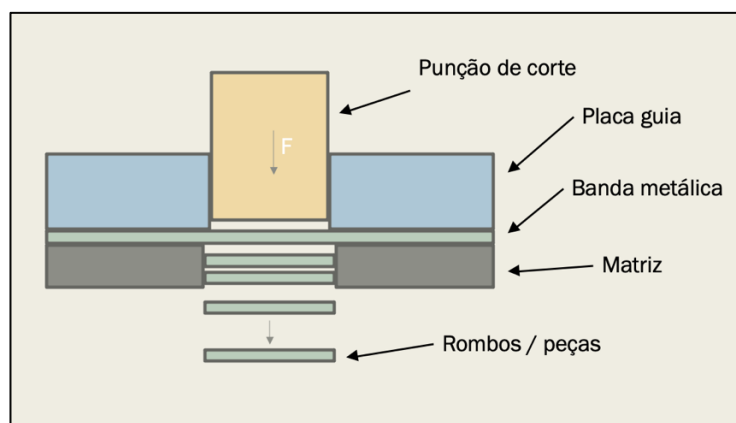


Figura 10 – Sistema convencional de corte por punção e matriz.

Para permitir pequenos desacertos na alimentação da prensa, uma ferramenta de corte utiliza pilotos para garantir que a fita se encontra no local correto. Geralmente, o primeiro passo na ferramenta é o furo para os pilotos. Após esse furo estar feito, cada passo seguinte da ferramenta terá um piloto que irá atravessar a fita metálica, permitindo a colocação da fita sempre no local correto. As geometrias mais utilizadas nos pilotos visualizam-se na figura 11.



Figura 11 – Geometria de diferentes tipos de pilotos [13].

São semelhantes a um punção redondo convencional mas, na sua ponta, dispõem de um bico maquinado que irá absorver quaisquer falhas na alimentação, desde que estas não excedam metade do diâmetro do piloto [2]. Pode-se verificar na figura 12, a posição de um piloto antes e após a penetração da fita metálica.

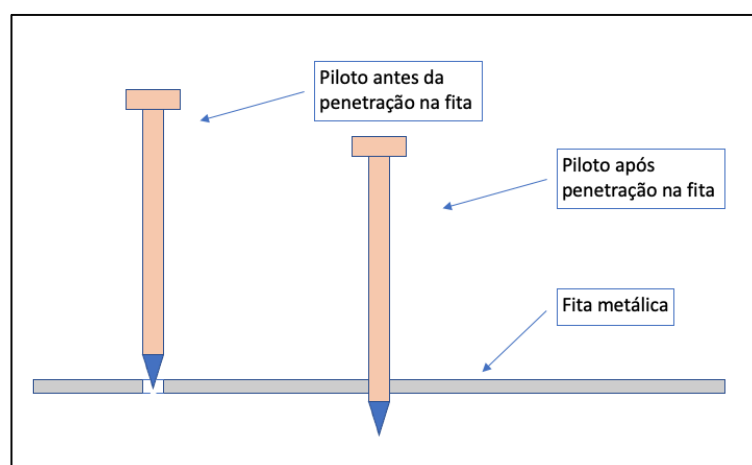


Figura 12 – Exemplo de folga e posição de um piloto ao penetrar a fita.

Numa ferramenta de corte progressivo existem três tipos de operações, denominadas por:

- Corte
- Quinagem
- Estampagem

Em relação ao corte, esta operação realiza quaisquer que sejam os furos, contornos e geometrias a aplicar na fita metálica. O processo consiste na utilização de um punção de corte e de uma matriz. Ao cortar, o rombo, pedaço de material que foi retirado, irá sair pelo interior da matriz, sendo considerado desperdício. A folga entre o punção e a matriz é muito

importante para se obter um corte rigoroso, sem origem de rebarbas. No geral, utiliza-se como folga 2,5 a 5 % do valor da espessura da fita a cortar. Este fator tem uma grande importância para que os componentes tenham uma vida útil correta. Conforme se pode observar na figura 13, a distância existente entre peças, se for menor que a admissível, irá proporcionar que ocorram fraturas nos componentes da ferramenta. No caso de haver uma folga demasiado grande, irão aparecer rebarbas impróprias nas peças, o que alterará a sua geometria [1].

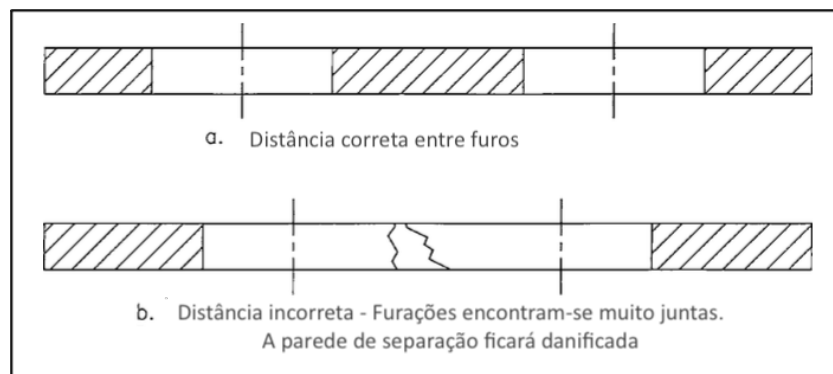


Figura 13 – Diferença entre a distância correta e incorreta entre furos numa banda/fita cortada por arrombamento [1].

Existe uma grande diferença entre cortar um rombo (desperdício) ou cortar uma peça, conforme se ilustra na figura 14. O rombo, como o nome indica, é algo que se vai desperdiçar e que é necessário retirar da peça. Para isso, as medidas a respeitar são as dimensões do furo. Quando se dimensiona o punção e a matriz, a cota a respeitar será a do punção, pois o furo terá exatamente essa medida. No caso do corte final para extração da peça, as dimensões a ter em consideração são as da matriz, pois são estas as medidas do componente a extrair.

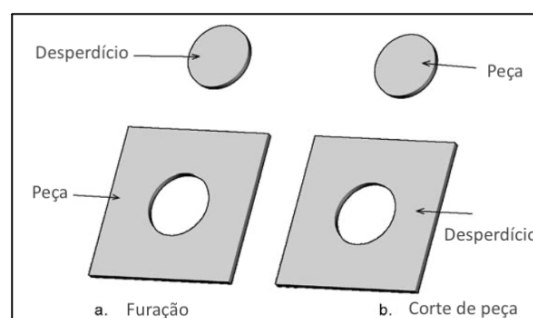


Figura 14 – Comparação entre: a) Corte de desperdício e b) Corte de uma peça [1].

Um aspeto importante a ter em conta é a vida útil dos componentes da ferramenta. Pode verificar-se, na figura 15, que existe sempre uma aresta presente na peça que é proveniente do corte. Na figura 15a, mostra a zona onde origina a rebarba resultante numa peça em que o punção é o componente móvel e penetra a matriz de cima para baixo. Na figura 15b, a rebarba situa-se no local oposto pois o movimento é dado através da matriz. Um punção ou uma matriz desgastada darão origem, na peça, a marcas visíveis que, com o decorrer do desgaste, vão-se transformando em rebarbas. Para este fenómeno, é de extrema importância que os componentes sejam retificados (quando possível) ou mesmo substituídos [1].

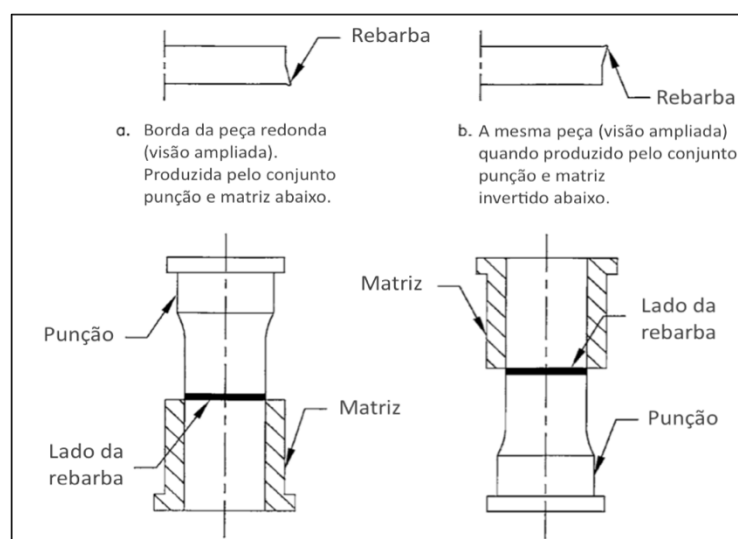


Figura 15 – Localização da rebarba com posicionamentos diferentes: a) Punção movimenta-se de cima para baixo e b) Matriz movimenta-se de cima para baixo [1].

Para garantir a geometria requerida após o processo de corte, é necessário ter em conta a localização dos furos ou dos cortes na fita de matéria-prima. Esses cortes não devem ser colocados muito perto uns dos outros ou mesmo das extremidades da matéria-prima.

O corte entre punção e matriz passa por três fases. Este corte resulta do movimento entre duas arestas afiadas (separadas apenas pela folga de corte) e um material colocado entre elas (matéria-prima). A figura 16 ilustra as três fases de corte, concretamente:

1. Deformação – À medida que as arestas de corte começam a esmagar o material, ocorre a deformação em ambos os lados, na proximidade do corte.
2. Penetração – As arestas cortantes penetram o material causando linhas de fratura (fissuração).

3. Fratura – Este último estágio dá-se na altura em que as linhas de fratura superiores e inferiores se encontram. O punção tem que passar a superfície inferior da peça, de forma a soltá-la por completo e limpar qualquer rebarba proveniente do corte. [5]

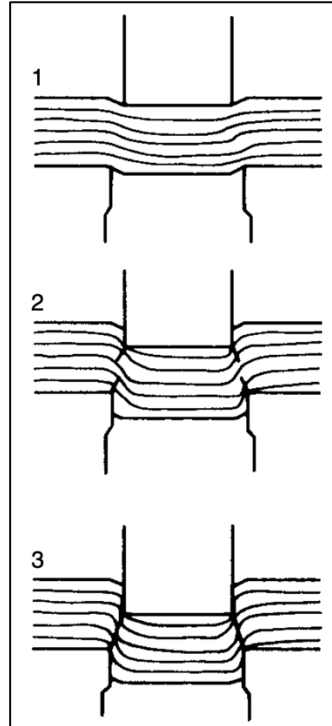


Figura 16 – Três estágios de corte: Deformação; Penetração e Fratura [5].

Outro tipo de operação bastante utilizada neste tipo de ferramentas é a quinagem/dobragem. Nesta operação, existe uma matriz e um punção com a geometria que se pretende dar à peça. A linha de dobra, no caso da quinagem, é reta ao longo de todo o seu comprimento, o que a difere de uma linha de estampagem, onde a linha de dobra é curva. É de salientar que essa geometria não pode ser igual à pretendida no final pois existe sempre uma recuperação elástica por parte do material da banda metálica. Assim, qualquer dobragem necessita de uma deformação superior ao valor expectável para que, com a ação da recuperação elástica, esta adquira a deformação pretendida. A diferença entre a peça inicial e a peça final pode ser observada na figura 17a. As figuras 17b e 17c correspondem, respetivamente, ao início da operação de dobragem e ao fim dessa mesma operação, em que a ferramenta se encontra fechada [3].

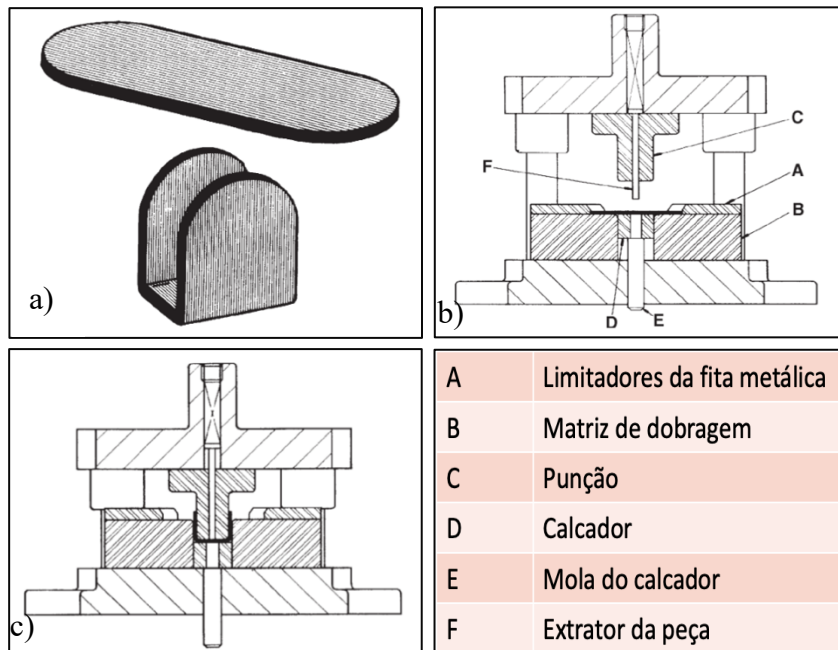


Figura 17 - Operação de dobragem: a) Peça antes e depois da dobragem; b) Início da operação de dobragem e c) Fim da operação de dobragem [3].

Por último, existe a estampagem, que tem algumas semelhanças com a dobragem. Como referido anteriormente, a sua linha proveniente da dobra é curva. Para o caso da estampagem, a deformação plástica será bastante maior, pelo que necessita de uma maior força para a operação. A diferença entre a peça antes da estampagem e após, encontra-se na figura 18a. No caso das figuras 18b e 18c correspondem, respetivamente, à ferramenta de estampagem no seu estado aberto e no seu estado fechado. Quando a ferramenta se encontra fechada, a peça já está conformada. Porém, só após a extração, é que o componente recupera elasticamente, adquirindo, assim, a sua forma final [3].

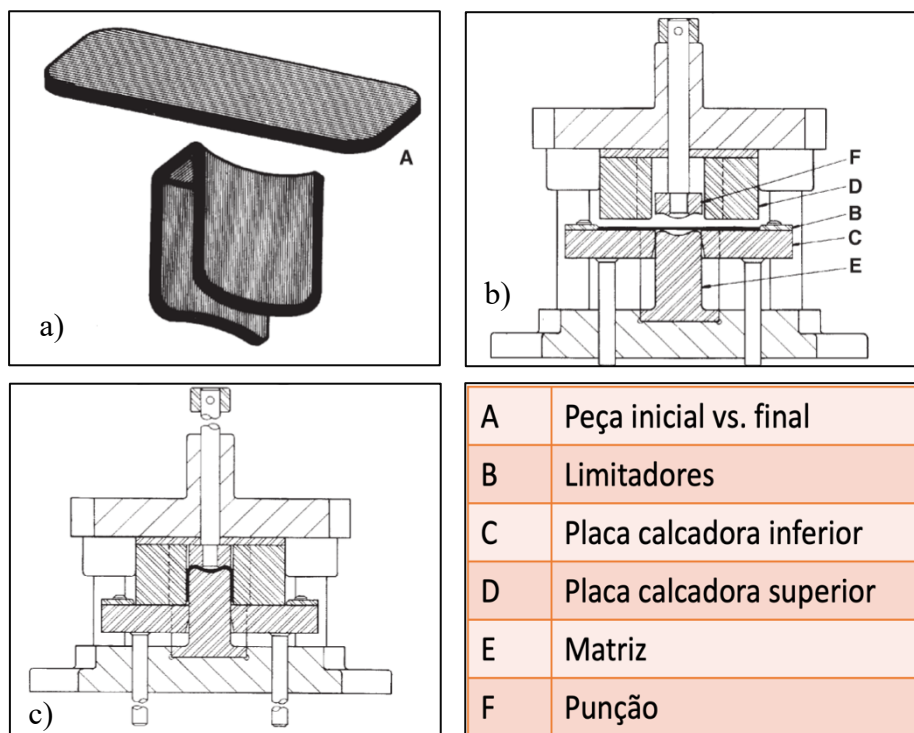


Figura 18 – Operação de estampagem: a) Diferença entre a peça inicial e a peça final; b) Ferramenta no estado inicial (aberta) e c) Ferramenta no final da estampagem (fechada) [3].

Para se projetar uma ferramenta de corte progressivo, é preciso perceber qual a produção anual e o investimento estimados. Existem três tipos de ferramentas de corte em que as suas características diferem com estes dois aspetos. Estas diferenças podem ser vistas na figura 19. No caso da ferramenta ilustrada na figura 19a, apenas se utiliza um punção sem guiamento, em conjunto com a matriz. Este tipo de ferramenta é da maior simplicidade e destina-se a pequenos trabalhos em que, na maior parte dos casos, a alimentação se faz de forma manual. Em relação à figura 19b, trata-se de uma ferramenta que já utiliza uma placa guia. Essa placa está apertada à placa de matrizes e obriga todos os punções a posicionarem-se no sítio correto. Desta maneira, a vida útil das matrizes e punções aumentará substancialmente pois o risco de embate será menor. Por último, o tipo de ferramenta mais evoluído e fiável é o apresentado na figura 19c. Consiste numa placa guia móvel que, ao mesmo tempo, serve de placa calcadora. Utilizam-se umas guias que atravessam a placa e, assim, obrigam a placa a manter a sua posição [4].

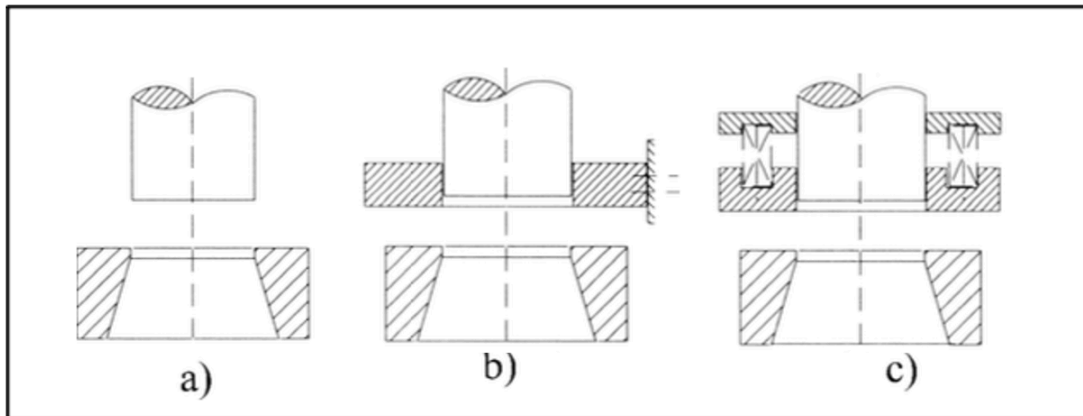


Figura 19 – Diferenças estruturais nas ferramentas de corte progressivo: a) Punção e matriz; b) Punção, matriz e guiamento e c) Punção, matriz, guiamento e placa calcante [4].

Um fator importante a ter em consideração no desenvolvimento de uma ferramenta é a folga entre punções e matrizes. A folga, representada na figura 20, é a distância projetada entre os dois componentes que irão originar o corte. Quanto menor a folga, maior a força necessária para o corte.

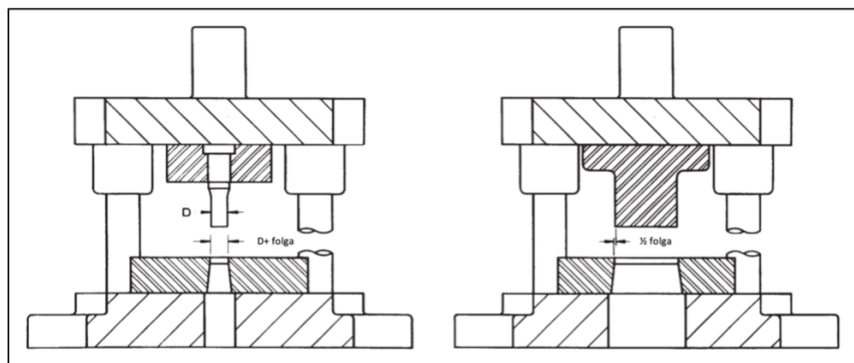


Figura 20 - Aplicação da folga. Adaptada [3].

Existe uma série de coeficientes relacionados com os tipos de materiais, que são utilizados para calcular a folga em relação à espessura do material a cortar. Esses valores estão presentes na figura 21. Para materiais mais macios, como é o caso do latão e alguns aços, pode-se utilizar coeficientes entre 16 e 20 que dão origem a uma folga, respectivamente, 6 % e 5 % da espessura da fita de matéria-prima. Para aços mais duros, como é o caso do aço inoxidável, é usual uma folga de cerca de 7 % da espessura.

Constants for Various Materials	
Formula:	$\frac{\text{Thickness of Stock}}{\text{Given Constant}}$
MATERIAL	CONSTANT
Copper.....	21
Brass.....	20
Soft Steel.....	17
Medium Steel.....	16
Phosphor Bronze.....	16
Hard Steel.....	14
Boiler Plate..... (over $\frac{1}{4}$ in. thick)	10
Soft and Medium Steel..... (over $\frac{1}{4}$ in. thick)	10
Aluminum..... (to $\frac{1}{8}$ in. thick)	10
Aluminum..... (over $\frac{1}{8}$ in. thick)	8

Figura 21 – Constantes utilizadas para o cálculo da folga [3].

3.3. Estudos científicos recentes sobre corte por arrombamento

O processo de corte progressivo é um processo em constante desenvolvimento, pois existe, cada vez mais, uma necessidade de produção em massa. É um processo bastante rentável dado ser capaz de garantir uma produção de um determinado lote não só a uma elevada velocidade, mas também com um custo de produção baixo. Desta maneira, existe um interesse em evoluir nas ferramentas associadas a este processo, por forma a aumentar a sua rentabilidade.

Em 2021, desenvolveu-se um estudo para simulação da geometria de uma ferramenta de corte progressivo, utilizando o Solidworks. Este mesmo estudo serviu para comprovar que, com esta ferramenta computacional, é possível avaliar os esforços e as deformações presentes em cada componente na altura do seu funcionamento. Avaliou-se também a diferença entre os esforços aplicados através de furações na banda metálica (*piercing*) e através do corte de uma peça da mesma banda (*blanking*). Para isso, foi necessário também uma análise da matéria-prima a ser inserida na ferramenta, tais como as suas características mecânicas e as suas dimensões da sua área de secção transversal. Na figura 22, é possível visualizar as zonas propícias a esforços. Esses esforços encontram-se diferenciados pelas cores presentes. A cor vermelha significa o valor máximo dessa propriedade e a cor azul significa o valor mínimo. Neste caso, observa-se que, na figura 22a, a tensão máxima aplicada surge na zona de maior fragilidade que é a cabeça do punção. Por ser uma zona de

maior fragilidade, os punções já são produzidos com um pequeno boleado nessa zona. O objetivo é não deixar uma aresta viva pois seria uma fragilidade quando sujeita a esforços. Na figura 22b, analisa-se as zonas onde o deslocamento será maior. A escala de cores mantém-se similar à da figura 22a. A zona sujeita a um maior deslocamento é a zona de corte, que estará diretamente em contacto com a banda metálica a cortar. [9].

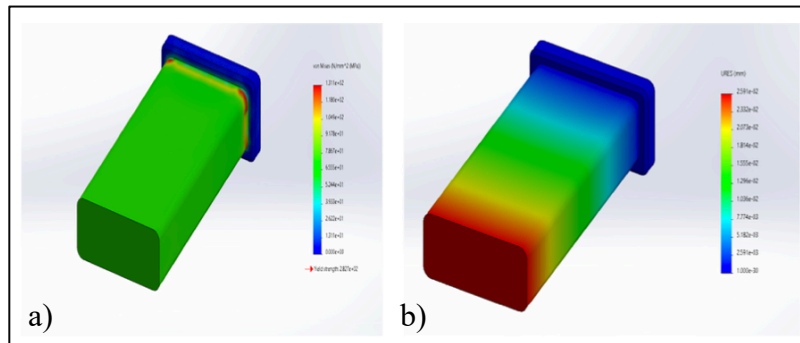


Figura 22 - Verificação da zona mais afetada no punção durante o corte: a) Tensão máxima e b) Deslocamento máximo [9].

Outro estudo que decorreu em 2021 consistiu na análise e desenvolvimento de uma ferramenta progressiva para a produção dos carris de suporte para os bancos de um carro 4x4 da Toyota. O objetivo deste estudo foi otimizar e reduzir o material a utilizar como matéria-prima. O software utilizado para a modelação 3D foi o CATIA e para a análise utilizou-se o software ANSYS. Após a conclusão do estudo, foi possível conhecer as zonas da ferramenta que estão mais sujeitas a fraturas. Na figura 23, vê-se a distribuição dos valores de deformação a que o punção se encontra sujeito durante o corte. Vê-se que a região que irá estar sujeita a maior deformação é a extremidade inferior. Uma ferramenta deste tipo utiliza os punções e matrizes montados individualmente. Dessa maneira, existe uma enorme facilidade em substituir qualquer peça de desgaste que seja necessária. Assim, este processo identifica-se como um processo de alto desempenho e de baixo custo face à manutenção necessária [10].

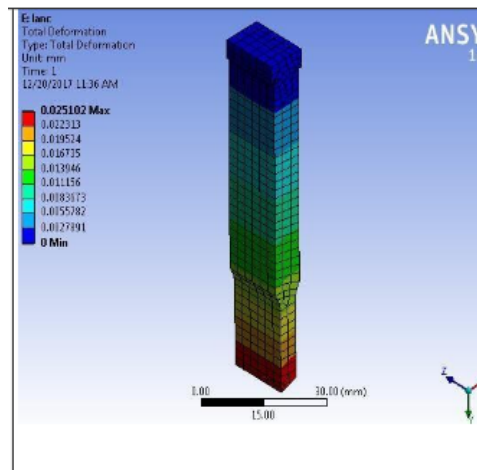


Figura 23 - Mapa de deformação ao longo do punção [10].

Ainda em 2021, desenvolveu-se uma ferramenta de apenas duas estações com três tipos de operações diferentes, para a produção de uma peça complexa. Essa peça pode ser observada na figura 24a. O objetivo consistiu em projetar uma matriz progressiva, para produzir este componente bastante complexo, utilizando como processos a furação, corte de entalhes, estampagem e quinagem. Pode-se observar na figura 24b, a ordem de operações realizada para a produção da peça. Na primeira estação, ocorrem os processos de furação de 21 furos e os cortes de dois entalhes no início da peça. A segunda operação tem como objetivo a quinagem de duas abas laterais e também o corte final da peça, separando-a da chapa de matéria-prima [11].

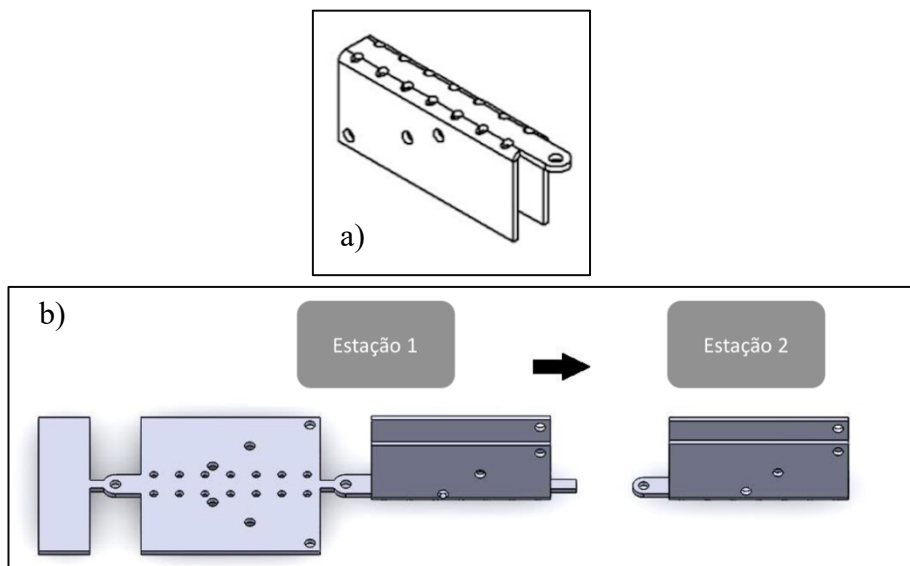


Figura 24 – Produção de uma peça em duas operações: a) Vista isométrica da peça e b) Conjunto de operações para produção da peça [11].

4. Descrição do componente

A garra de pladur, presente na figura 25, é um componente que necessita de uma grande robustez geométrica devido ao seu tipo de utilização. Esta peça tem de garantir um aperto suficiente para que a caixa de aparelhagem onde se insere, fique bastante sólida na parede. Para isso, a espessura da peça é uma medida essencial.



Figura 25- Garra de pladur.

4.1. Geometria do componente

Esta peça contém uma das extremidades redonda e a outra com dois ângulos retos. A zona redonda tem como propósito minimizar as prisões na altura de montagem. No centro da extremidade redonda, existe um furo roscado M3, onde irá atarraxar um parafuso de aperto. A rosca maquinada na peça não é uma rosca convencional. Esta rosca é uma rosca especial, ou seja, em vez de ter um passo de 0,5 mm, como teria uma rosca M3 normalizada, tem três entradas de rosca, todas equidistantes, fazendo com que o passo resultante seja 1,5 mm. Trata-se de uma forma de otimizar o tempo do instalador que necessita de apertar cerca de 35 mm em cada parafuso. Na outra extremidade, apresenta dois relevos e são esses dois relevos que dão o nome “garra” ao componente. São dois pequenos cantos bicudos que irão fazer com que a peça, ao ser apertada na parede de pladur, fique cravada e não mude a sua posição. Assim, garante-se fiabilidade no aperto da caixa. As medidas da garra de pladur estão ilustradas na figura 26. A peça tem uma espessura de 1,8 mm, comprimento 15,0 mm e uma largura de 6,5 mm. É importante que as medidas que apresentem tolerâncias no desenho, sejam respeitadas para o correto funcionamento da peça.

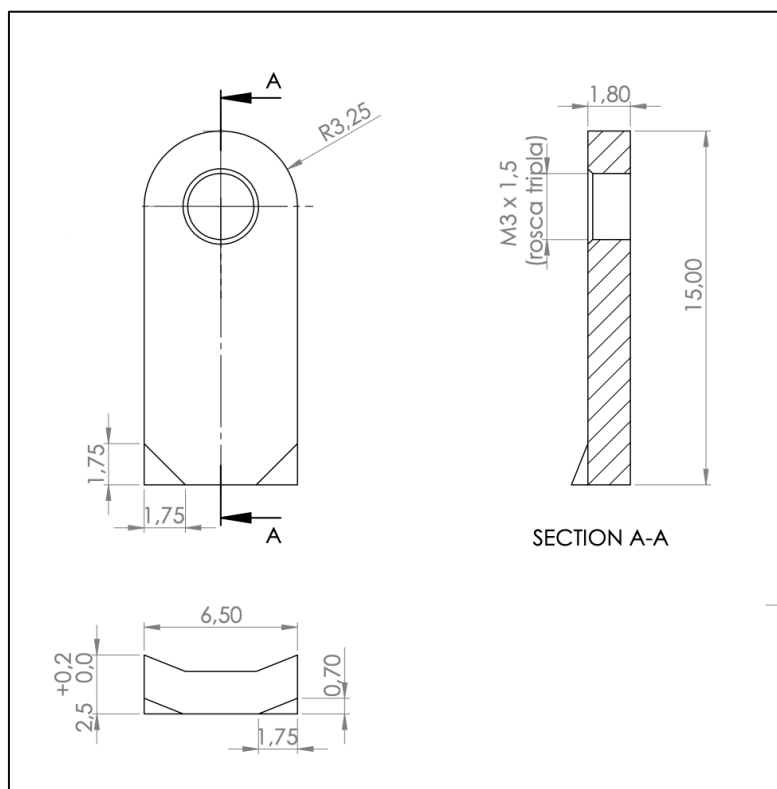


Figura 26 - Desenho técnico da Garra de Pladur.

4.2. Características da matéria-prima

A seleção das dimensões e o tipo de material da matéria-prima a utilizar, é de extrema importância para o dimensionamento da ferramenta. A sua aquisição é feita por meio de bobinas, em que o seu peso máximo não deverá ultrapassar os 250 kg por questões de transporte dentro da fábrica (figura 27a). As dimensões da secção transversal utilizadas nesta matéria-prima para a largura e espessura são, respetivamente, 37,5 mm e 1,8 mm. A figura 27b apresenta um corte na banda metálica para exemplificar a secção transversal.

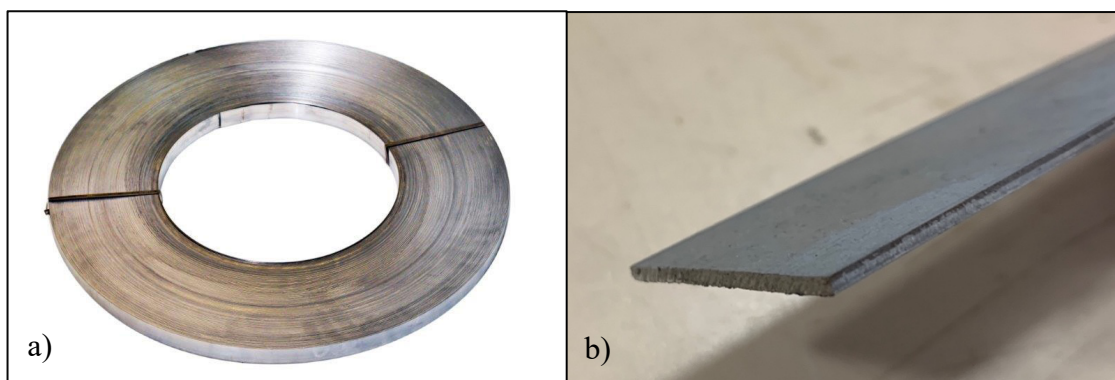


Figura 27 - Matéria-prima: a) Bobina de matéria-prima e b) Secção transversal da matéria-prima.

Conforme se pode observar na tabela 2, a matéria-prima selecionada para este componente foi um aço galvanizado de referência S250GD+Z100. Significa que é um aço com uma tensão limite de elasticidade mínima de 250,0 MPa e que leva um tratamento superficial zincado mínimo de 100 g/m². Para este lote em específico, conforme se apresenta na tabela 2, a resistência à tração é 420 MPa e a tensão limite de elasticidade é 314 MPa. Em relação à composição química, os elementos presentes são o ferro, carbono, silício, manganês, enxofre e fósforo.

Tabela 2 - Composição química e propriedades mecânicas de um lote da matéria-prima.

Referência do material	Composição química [% pond.]					Propriedades mecânicas		
	Carbono	Silício	Manganês	Enxofre	Fósforo	R _m [MPa]	Re [MPa]	A _{80%}
S250GD+Z100	0,130	0,019	0,450	0,017	0,010	420,0	314,0	37,0

4.3. Características da rosca

Desde o início de produção da garra de pladur, o seu processo de fabrico tem sofrido algumas alterações como melhoria. Inicialmente, o processo de roscagem feito nas máquinas de roscar consistia na utilização de um macho de corte M3 standard, isto é, um macho de corte para máquina, M3 com passo normalizado 0,5 mm. Com vista a melhorar o processo, analisou-se a possibilidade de adquirir um macho de esmagamento. A grande vantagem na sua utilização é a não produção de limalhas, o que torna o processo bastante mais limpo e sem necessidade de uma lavagem profunda. Contudo, para esta alteração, não basta apenas a troca de machos. O furo que é produzido na peça a roscar passa de 2,5 mm (medida standard para uma rosca M3 convencional) para 2,8 mm. Isto deve-se ao facto de, com a utilização de um macho de esmagamento, haver conservação do volume da peça. O diâmetro do furo é de 2,8 mm mas, ao esmagar o material, este irá conformar-se para o interior da rosca, preenchendo o espaço em vazio, fazendo com que o diâmetro interno se altere para, aproximadamente, 2,5 mm. A partir do momento da alteração, a produção de limalha é praticamente nula.

Com o passar do tempo e tendo em conta as exigências/opiniões dos clientes, tomou-se a decisão de mais uma alteração. O processo passou de rosca simples para rosca tripla, isto é, um macho M3 também de esmagamento mas, ao invés de ter um “filete” de rosca, tem três. O passo de 0,5 mm preserva-se mas a distância entre filetes altera-se para o triplo

(1,5 mm). Desta maneira, permite ao instalador uma grande economia no tempo da instalação. O avanço na rosca passou de 0,5 mm por volta para 1,5 mm. Os machos utilizados têm como designação M3x1,50 7GX HSSEE.

- M3 – Tipo de rosca
- 1,5 – É a distância percorrida após uma volta de rotação. A distância ente filetes de rosca mantém-se 0,5 mm como um macho M3 convencional mas, neste caso, este macho apresenta 3 entradas fazendo com que a cada volta percorra $0,5 \text{ mm} \times 3 = 1,5 \text{ mm}$.
- 7GX – Classe de tolerância que define o nível de precisão e ajuste entre o macho e o furo roscado por ele criado.

5. Descrição do processo de fabrico

O processo atualmente utilizado para produção da garra de pladur consiste numa sequência de estágios. No presente capítulo, encontra-se a descrição de todas as operações necessárias, dos equipamentos utilizados e de alguns consumíveis essenciais para a produção deste componente. Serão mencionadas também, as limitações provocadas pelo processo atual, que levaram ao desenvolvimento de uma solução alternativa para a produção desta peça.

5.1. Método de produção anterior

A garra de pladur é produzida através de um conjunto de processos que se encontram interligados. Para a sua produção, são necessários quatro estágios de fabrico, conforme se ilustra na figura 28.

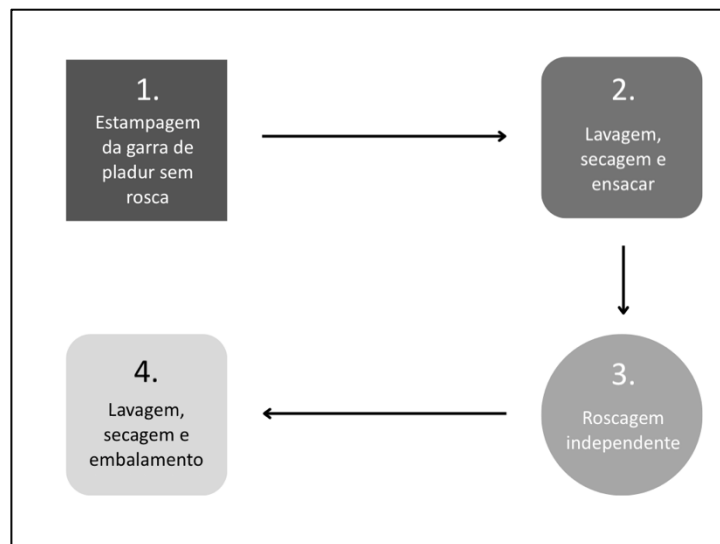


Figura 28 - Esquema representativo da sequência de operações para produção da garra de pladur.

5.1.1. Produção da garra de pladur sem rosca

No processo de corte e estampagem, utiliza-se uma prensa mecânica do ano 1971 de marca alemã Emil Linde, de 45 toneladas de força. É fundamental a utilização de um sistema de alimentação automático, ilustrado na figura 29, para produções em série. Permite um avanço constante da mesma quantidade de matéria prima. Este sistema utiliza uma série de engrenagens para conduzir o movimento correto para os rolos de alimentação. A máquina permite uma afinação, de modo a ajustar-se a quantidade de matéria-prima que se pretende avançar.

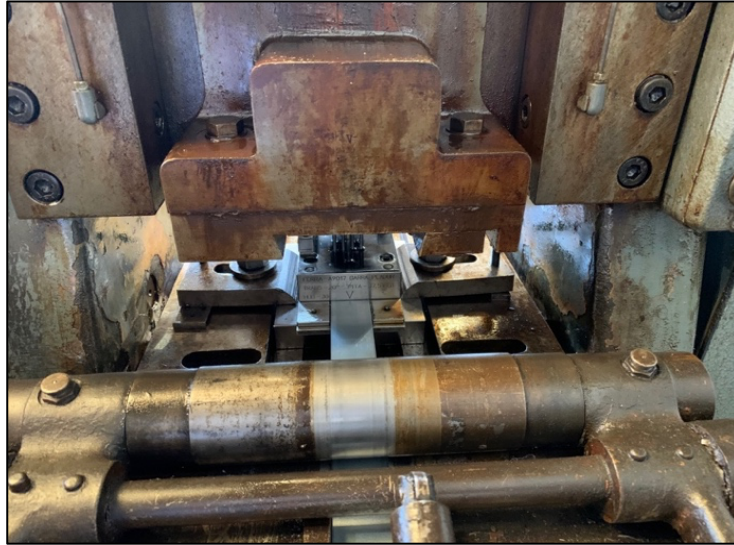


Figura 29 - Alimentação automática utilizada na prensa Emil Linde 45.

A ferramenta desenvolvida para a estampagem utiliza um passo de 20 mm e um curso de 30 mm. Quer isto dizer que, a cada ciclo, a matéria-prima avança 20 mm, sendo que, nesses mesmos 20 mm, irão ser produzidos conjuntos de garras de pladur. O curso de 30 mm é a distância entre o ponto morto superior e o ponto morto inferior. Para uma melhor percepção da definição de curso da ferramenta, encontra-se ilustrado na figura 30, a diferença entre o ponto mínimo e o ponto máximo da ferramenta. O ponto morto inferior, figura 30a, é o momento em que a ferramenta se encontra totalmente fechada. A ferramenta está na posição mínima e os punções estão dentro das matrizes. A ferramenta, ao abrir, passa pelo ponto médio, figura 30b, e será neste ponto que se irá iniciar a alimentação da matéria prima. O ponto morto superior, figura 30c, é a altura em que a ferramenta se encontra mais aberta (no seu ponto máximo). Esta prepara-se para fechar, concluindo assim o ciclo da ferramenta. O valor seleccionado deve-se à necessidade de manter os punções recolhidos na guia da ferramenta para que a fita de aço possa ser alimentada sem quaisquer constrangimentos.

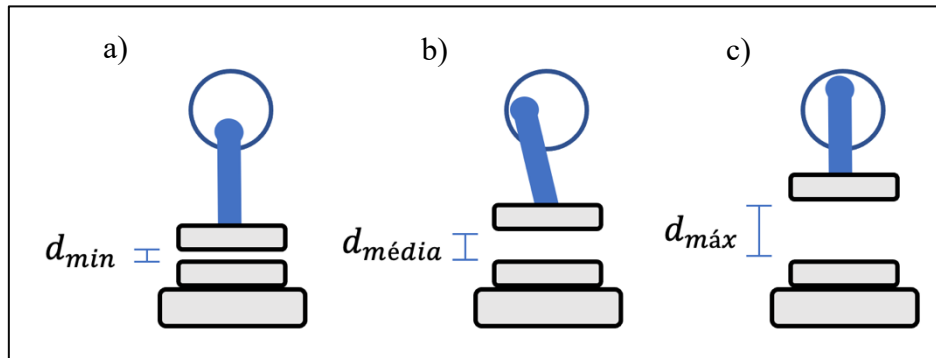


Figura 30 - Curso de uma ferramenta: a) Ponto morto inferior; b) Ponto médio e c) Ponto morto superior.

Por cada ciclo, retiram-se quatro peças. Utilizando a velocidade mínima de funcionamento da prensa mecânica, permite uma produção de 115 200 unidades, num turno de 8 horas. Estes dados encontram-se presentes na tabela 3. De modo a evitar amontoamentos de peças defeituosas e para facilitar o embalamento, são realizadas séries de 6 000 unidades. Estes lotes são acumulados, individualmente, em caixas para facilitar o embalamento. Após a conclusão das 6 000 unidades, um operador retira uma última amostra da máquina, de modo a confirmar as medidas e garantir que esse mesmo lote não apresenta produtos defeituosos. Posto isto, poderá então adicionar o lote à restante produção diária.

Tabela 3 - Dados de produção da prensa.

Prensa EMIL LINDE 45 toneladas		
Velocidade	Peças/ciclo	Produção/ turno**
60 upm*	4	115 200

* upm - Ciclos por minuto

** Considera-se um turno de 8 horas

5.1.2. Lavagem, secagem e embalamento

Após a estampagem das garras de pladur, estas são lavadas numa tina própria de retenção, juntamente com um líquido desengordurante, que pode ser visualizado na figura 31a. Esse produto, designado por “Terclen 100”, não só tem características de desengordurante, mas no final deixa uma camada de gordura nas peças. O objetivo dessa gordura é isolar ao máximo o componente de forma a prolongar o tempo antes de corrosão. Apesar da garra de pladur ser produzida num aço zincado, existem zonas em que a corrosão irá atacar mais facilmente como a zona roscada e a zona de espessura em torno da peça. A

razão é devido a se utilizar uma chapa de aço zincado como matéria-prima, em vez de se zincar os componentes, após a sua transformação. Esta ação poderá vir a ser alvo de uma ação de melhoria, de forma a prolongar a vida útil da garra de pladur contra a corrosão.

Deixa-se escorrer a maior quantidade e, de seguida, é necessária uma secagem. Essa operação é feita através de um equipamento de rotação, figura 31b, para que o líquido seja expelido através da centrifugação. No topo da máquina de secar, encontra-se uma resistência para tornar este processo mais eficaz. As garras serão, então, embaladas e transportadas para o próximo processo.



Figura 31 – Equipamentos de lavagem: a) Tina de lavagem das peças e b) Equipamento de secagem.

5.1.3. Roscagem independente

Existem dois sistemas de roscagem automática, totalmente desenvolvidos internamente. Cada máquina é constituída por uma panela vibratória, uma calha de deslizamento para transportar as garras de pladur, um mecanismo de roscar e um motor elétrico. Na figura 32, observa-se o sentido de movimento das garras de pladur ao longo do processo de roscagem. Este estágio tem início na panela vibratória, que orienta as peças para a calha de deslizamento. O mecanismo de roscar, acoplado ao motor elétrico, roda no sentido de atarraxar (sentido dos ponteiros do relógio) e, depois, inverte o seu sentido de modo a desatarraxar. Após a rosca concluída, a peça cai instantaneamente no recipiente de armazenamento.

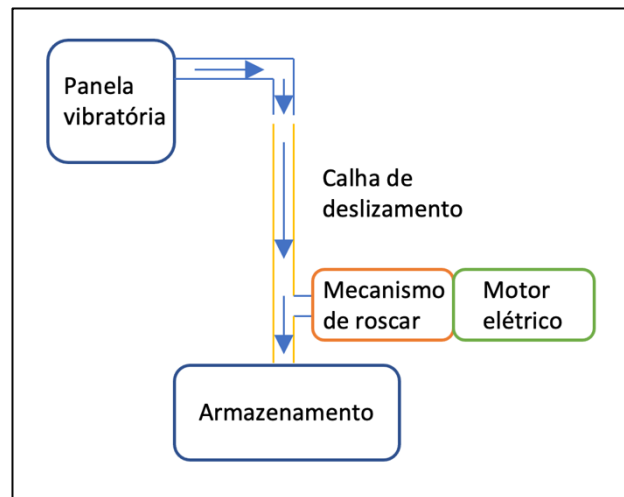


Figura 32 - Sistema de rosca independente.

Conforme referido anteriormente, num primeiro momento, as peças são colocadas na panela vibratória, ilustrada na figura 33 que, através da ação da vibração, as orienta até à sua saída. Com o auxílio de diversos obstáculos, foi possível orientar as garras de forma a saírem sempre na mesma posição. Este fator é de elevada importância, pois o mecanismo desenvolvido para efetuar a rosca, encontra-se fixo e não se adaptará a cada posição das peças.



Figura 33- Panela vibratória.

Na calha de orientação, exemplificada na figuras 34a e 34b, as garras são posicionadas com o furo a ser roscado para baixo. Nesta calha, existem dois sensores para leitura de peça. O primeiro sensor (no início da calha), que se encontra ilustrado na figura 34a, é utilizado para detetar que a calha se encontra totalmente preenchida de garras. Ao detetar, faz com que a panela vibratória pare a sua vibração. Este aspeto é fundamental para que não haja

garras em esforço na união entre a panela e a calha, provocando a prisão entre duas peças que originará um encravamento da máquina. Por sua vez, o segundo sensor encontra-se colocado praticamente no fim da calha (deixando apenas 4 a 5 garras da saída). Este sensor é o único a interagir com o operador, sendo que a sua função consiste em acionar um alarme ao fim de alguns segundos sem deteção de peças. O primeiro sensor poderá não detetar peças e fazer a panela vibrar mas, se houver um encravamento, é necessário que o operador tome conhecimento. A máquina para a marcha e é acionado o alarme. Deste modo, evita-se que a máquina esteja a trabalhar algum tempo sem roscar nenhuma peça. Permite economizar-se sobretudo energia, tempo de produção, e óleo de lubrificação.

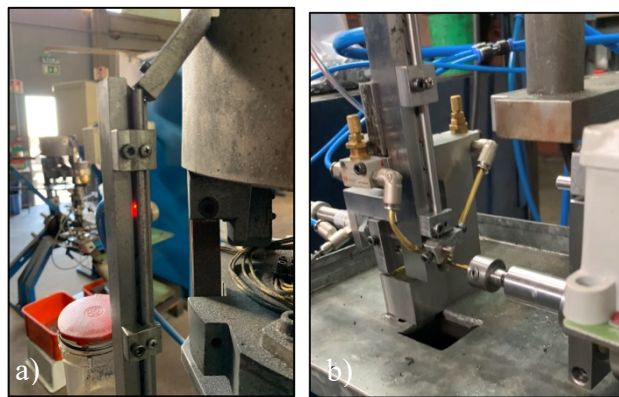


Figura 34- Calha de deslizamento, sensores e zona de roscagem: a) Calha de deslizamento com sensor e b) Zona de roscagem.

O mecanismo de roscar é composto por um motor elétrico com refrigeração forçada, presente na figura 35, e um fuso com um passo igual ao passo de rosca do macho a utilizar. Esse fuso, feito em bronze, faz com que a cabeça de roscar avance 1,5 mm por cada volta. Para a operação de roscagem, utilizam-se machos de arrombamento ou esmagamento que, em vez de efetuarem o corte, originando limalhas, deformam o orifício da rosca, formando corretamente os filetes. A produção de limalhas é quase nula. De facto, por norma, apenas são expelidos pequenos pedaços (quase invisíveis) da camada de tratamento superficial de zinco.



Figura 35- Motor elétrico e respetivo quadro elétrico.

5.1.4. Lavagem, secagem e embalamento

O estágio final consiste numa segunda lavagem das peças. As garras de pladur, após a roscagem, apresentam limalhas (consequentes da abertura de rosca). Devido à existência de contaminantes sólidos, este processo de lavagem é um pouco diferente do anterior. Na secção de lavagem, existe um equipamento com um método de funcionamento semelhante ao de uma máquina de lavagem de roupa doméstica (figura 36). Contém uma cuba redonda com alhetas no seu interior. Estas alhetas servem para que, ao rodar, as peças oscilem, eliminando as limalhas nelas presentes. Para que haja um escoamento e desengorduramento das garras, utiliza-se um depósito completo do mesmo líquido de desengorduramento “Treclen 100”. Este tanque sobe ou desce, consoante o funcionamento da máquina. O solvente cobre cerca de $\frac{1}{4}$ da cuba, permitindo que as peças oscilem livremente.



Figura 36 - Máquina de lavar e separação de limalhas.

No fim da lavagem, o tanque desce mas o tambor permanece em movimento por mais tempo, de forma a eliminar a maior quantidade de líquido presente. Por fim, colocam-se os produtos na máquina de secar e são embalados, prontos a seguir para o armazém de produto intermédio.

5.2. Características e descrição da prensa

Uma ferramenta de corte progressivo necessita de ser aplicada numa prensa (de alimentação automática ou não). O tipo de prensa a utilizar é fundamental, dado ser absolutamente necessário que garanta uma velocidade de trabalho adequada, não só para o corte e conformação do produto final, mas também para assegurar uma cadência admissível. Neste caso, o equipamento selecionado para utilização da ferramenta para produção da garra de pladur é a prensa mecânica representada na figura 37.



Figura 37 - Prensa mecânica para acoplamento de ferramenta de corte progressivo.

O seu funcionamento consiste num conjunto de movimentos que transmitem deslocação à ferramenta colocada na prensa. A figura 38 ilustra a sequência de funcionamento da prensa. A operação inicia-se através de um motor elétrico, colocado no topo da máquina. Esse motor transmite rotação ao volante do motor através de uma correia.

Para que seja possível o controlo do funcionamento da máquina e de qualquer prisão na ferramenta, utiliza-se uma embraiagem pneumática colocada entre o volante do motor e o veio excêntrico da máquina. Essa embraiagem serve para iniciar e parar o funcionamento da ferramenta. O veio excêntrico permite uma afinação para a regulação do curso da máquina pois cada ferramenta trabalha com um curso específico e projetado para ela. Cada prensa é composta por uma rótula com um corpo roscado (parafuso de ajuste) entre o veio excêntrico e o martelo, que se ajusta conforme a altura de cada ferramenta. Este ajuste é feito com a prensa no ponto morto inferior e tem como limitador uns batentes em cada ferramenta.

Assim, garante que os punções de corte já penetraram a matriz e que todos os punções de estampagem deformaram a matéria-prima para a forma pretendida. Este parâmetro é bastante importante porque cada ferramenta tem a sua altura. Denomina-se “martelo” da prensa, o prato superior onde se irá acoplar o teto de cada ferramenta. Este componente faz parte da zona móvel da prensa. Por último, a base é apertada à estrutura da máquina.

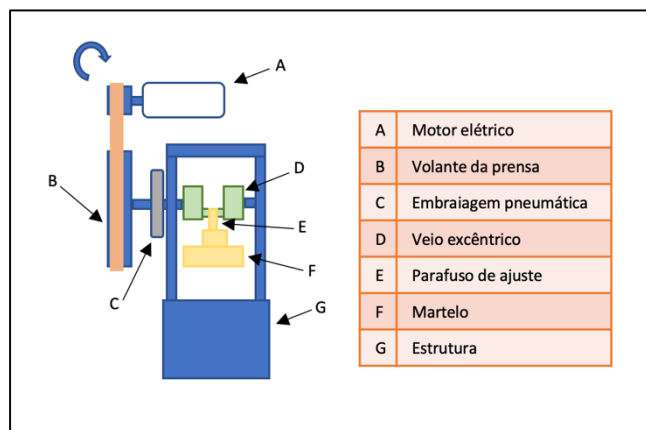


Figura 38 - Constituição de uma prensa mecânica.

É preciso garantir uma abertura tal, para que a matéria-prima, ao ser transportada para o interior da ferramenta, não embata nos punções na altura de avanço. Essa distância entre punções e matéria-prima, encontra-se na figura 39. Por outro lado, também existe uma grande necessidade de não deixar que os punções se elevem ao ponto de sair da placa guia. Se este fenómeno acontecer, a probabilidade de um mau guiamento, ou da quebra de algum punção, aumenta.



Figura 39 - Distância entre punções e matéria-prima.

Se as prensas ou “balancés” não tiverem alimentação automática, é necessário que haja um operador a trabalhar a 100 % com a máquina. Para uma produção, é necessário que o mesmo coloque a fita (matéria-prima) dentro da ferramenta, produzindo uma peça de cada vez. Por sua vez, a alimentação automática permite que a matéria-prima seja inserida dentro da ferramenta, em quantidade necessária para cada ciclo de trabalho. O movimento realiza-se através de engrenagens que, ao adquirirem rotação, permitem que 2 cilindros (figura 40) rodem o comprimento pretendido através do seu perímetro. A afinação deste movimento denominado de transporte é feita através de uma roda aplicada ao eixo da prensa. Essa roda apresenta uma escala no sentido do seu raio, ou seja, quanto mais se afasta o braço de movimento, maior será a distância percorrida, logo maior será a rotação dos cilindros. Este sistema é o sistema mais utilizado em prensas para garantir uma correta introdução de fita no interior da ferramenta.



Figura 40 - Rolos de alimentação automática.

5.3. Lubrificantes e Líquidos de limpeza

Para uma correta utilização da ferramenta, é fundamental que exista uma boa e periódica lubrificação. A lubrificação tem como principal função aumentar fortemente a durabilidade de todos os componentes em movimento inseridos na ferramenta. Para este caso, pode-se separar por três tipos de lubrificação diferentes:

- Lubrificação dos punções e guias.

Esta ação reduz significativamente o desgaste de todos os componentes da ferramenta que estão destinados ao corte ou estampagem. Devido às tolerâncias de ajustamento e às diferenças de dureza entre os punções e as placas onde estes se movimentam, é necessário que haja uma lubrificação eficaz. O intervalo de tempo para a lubrificação vai depender da velocidade de trabalho da prensa. O operador utiliza um borrifador de forma a ter acesso a todas as zonas da ferramenta, incluindo as de mais difícil acesso. O óleo escolhido para este efeito tem de ser um óleo que não apresente grande viscosidade mas também não pode ser um óleo muito fluido. Uma viscosidade elevada fará com que haja uma grande probabilidade de “colar” os rombos aos punções, ao invés de serem extraídos corretamente. Para este caso, o óleo utilizado é o Shell TONNA 68.

- Lubrificação dos machos.

Utiliza-se o método de “chapinhagem” para garantir uma correta quantidade de óleo penetrada nos machos. Assim, garante-se que todos os quatro machos presentes são lubrificados de igual forma. É bastante importante para uniformizar ao máximo a vida útil dos mesmos. Utiliza-se o óleo Shell Tellus S2 MX 68. Este fluido utilizado é adequado para sistemas hidráulicos, mas as suas propriedades/preço satisfazem na perfeição os requisitos para a durabilidade do macho e conceção da rosca.

- Lubrificação do sistema de engrenagens.

Este tipo de lubrificação apresenta uma periodicidade menor. É feito através de massa consistente que se aplica diretamente nas engrenagens. Como as engrenagens se encontram isoladas por meio de uma caixa com pouco contacto com o exterior, a durabilidade da massa é relativamente grande. Por hábito, efetua-se uma revisão à

lubrificação das engrenagens, cada vez que se retira a ferramenta da prensa. O seu acesso não é complexo, porém é impossível ser efetuado com a ferramenta aplicada na máquina.

5.4. Limitações deste processo

Numa produção de um determinado componente, todos os custos inerentes ao mesmo são equacionados. Neste atual processo, foram analisadas as limitações e melhorias possíveis a realizar para uma produção mais eficiente, ou seja, mais rápida e com menos custos.

Como abordado anteriormente, este processo consiste em quatro estágios. Após analisar cada estágio de forma independente, percebeu-se que era viável a produção de uma ferramenta que realizasse 2 estágios num só. Desta maneira, a produção aumentava cerca de três vezes. Como se pode observar na tabela 4, o tempo de produção, para um lote de 6000 unidades, é de 25 minutos. A prensa trabalha, por norma, a uma velocidade de 60 upm (ciclos por minuto).

Tabela 4 - Tempo de produção da ferramenta de corte progressivo para um lote de 6000 unidades.

Ferramenta de corte progressivo	
Produção [unid]	Tempo [min]
6000	25

No caso da máquina de roscar as garras de pladur, a sua velocidade de operação é bastante menor. Apesar de se utilizar duas máquinas de roscar em simultâneo para realizar o trabalho, a cadência de roscas efetuada é bastante inferior, relativamente à quantidade de peças produzidas pela ferramenta de corte progressivo. Na tabela 5, pode-se visualizar o tempo necessário que duas máquinas necessitam para roscar a mesma quantidade de peças que a ferramenta de corte.

Tabela 5 - Tempo de roscagem de duas máquinas de roscar para um lote de 6000 unidades.

Máquina de roscar independente	
Produção [unid]	Tempo [min]
6000	108

Ainda na máquina de roscar, a quantidade de garras que ficam encravadas na panela vibratória é significativa. Este acontecimento obriga a que o operador desencrave a máquina várias vezes durante o seu período de trabalho. Na zona de roscar, por vezes, existe garras que passam sem adquirir rosca. Este fenómeno deve-se a ligeiras prisões que ocorrem na zona de roscar, quando uma garra se atrasa na sua deslocação.

Após esta análise, concluiu-se que uma solução possível passava por projetar uma ferramenta de corte progressivo, capaz de realizar as roscas nas garras em simultâneo às suas operações de corte e estampagem. Assim, para além de aumentar a velocidade de produção destas peças, os custos reduzir-se-iam, pois não só se desativavam duas máquinas que roscavam 9 horas por dia e necessitam de bastante atenção por parte do operador, como se reduziam as duas lavagens para apenas uma. A garra de pladur, desta forma, é extraída da ferramenta de corte já com a rosca e, no final, apenas necessita de uma lavagem.

6. Desenvolvimento da ferramenta de corte progressivo com roscagem

A solução possível para aumentar produção das garras de pladur, passou por produzir uma ferramenta de corte progressivo capaz de realizar as roscas em simultâneo. No presente capítulo, encontra-se descrito o processo de desenvolvimento de uma ferramenta de corte progressivo, capaz de roscar quatro peças em simultâneo, de modo a não diminuir o número de peças produzidas pela ferramenta de corte. A configuração da ferramenta do processo anterior manteve-se, tendo sido acoplados machos e aplicados movimentos de rotação para se produzir roscas em simultâneo.

6.1. Seleção de materiais

Para que se consiga garantir o comportamento da ferramenta desejado, é necessário que haja uma seleção detalhada dos materiais que serão utilizados. Para isso, fez-se uma pesquisa detalhada de qual o material mais adequado para cada caso. Focando apenas a ferramenta de corte, pode-se definir quatro tipos de componentes de acordo com a sua função:

1. Punções e matrizes maquinados
2. Punções e pilotos de compra
3. Postiços
4. Placas estruturais

6.1.1. Punções e matrizes maquinados

Os punções e matrizes necessitam ser maquinados num aço mais “macio”, que posteriormente, possa ser sujeito a um tratamento térmico de forma a adquirir dureza. Para isso, utiliza-se um aço BCW de referência 1.2510, (DIN 100MnCrW 4), que permite uma dureza até 64 HRC após esse tratamento. Esta é a dureza estimada para um punção de corte utilizado nesta ferramenta. Após a têmpera, realiza-se o revenido de forma a amaciar as tensões internas do componente, tornando-o mais resistente a qualquer impacto sofrido, que reduzirá a sua dureza para 62 HRC. As matrizes de corte utilizam o mesmo aço utilizado nos punções maquinados. Pretende-se que seja um componente resistente, mas também de fácil maquinagem antes do tratamento térmico. Este tratamento, que também consiste na têmpera e revenido, eleva a dureza aos 58 HRC. Esta diferença de durezas tem o seu propósito que é

preservar, sempre que possível, as matrizes, pois são os componentes mais complexos de maquinar. Assim, espera-se que haja uma fratura num punção ao invés de na matriz. Pode-se observar na figura 41, uma das matrizes desenvolvidas para a ferramenta de corte progressivo.

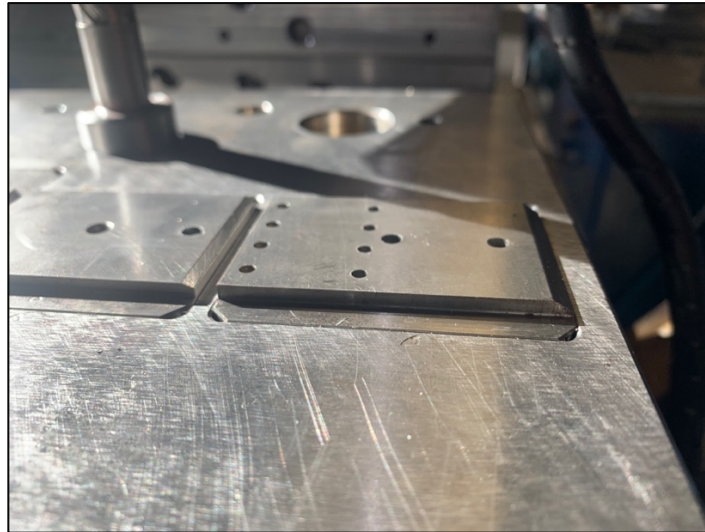


Figura 41 - Matrizes para os furos redondos a roscar.

6.1.2. Punções e pilotos de compra

Para furos redondos, é usual a utilização de punções de compra norma DIN 9861, em aço rápido, com a geometria apresentada na figura 42. O comportamento deste tipo de material é suficiente para garantir um bom desempenho dos mesmos tanto a quebras como ao desgaste exterior. A dimensão externa do punção é de extrema importância para que não haja diferenças nas dimensões da peça a extrair. O mesmo material é utilizado para punções piloto. Estes componentes, utilizando este material, apresentam uma elevada resistência ao desgaste.



Figura 42 – Punção de compra em HSS norma DIN 9861.

6.1.3. Postiços

Para que todo o desgaste da ferramenta seja uniforme, foram maquinados postiços, onde irá ocorrer todo o guiamento dos punções. É fundamental que haja um bom ajustamento e uma boa resistência ao desgaste, dado serem os postiços que posicionam corretamente os punções para um corte centrado. Assim, o aço adequado para este efeito é o

1.2083, com norma DIN X 42 Cr 13, um aço inoxidável específico para pequenos postigos e cavidades. Após a sua maquinação, estes componentes são sujeitos a um tratamento térmico de têmpera e revenido, para elevar a sua dureza e amaciar as tensões internas. Este material combina a resistência à corrosão e ao desgaste, apresentando um excelente polimento, ótima maquinabilidade e estabilidade dimensional durante o tratamento térmico. A manutenção das ferramentas é reduzida drasticamente, assegurando o acabamento superficial durante mais ciclos. A partir da figura 43, pode-se observar um punção, inserido num postigo guia, que vai provocar desgaste em ambas as peças. A têmpera é um tratamento fundamental para reduzir esse desgaste.

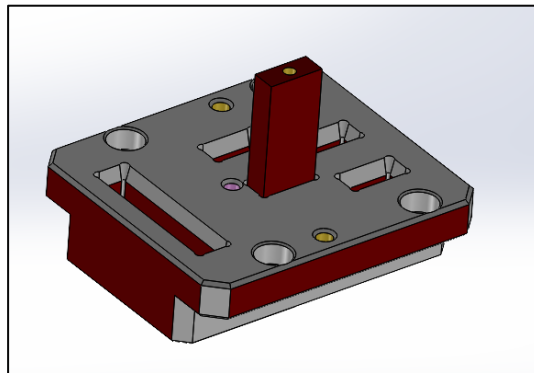


Figura 43 - Postigo guia com um punção inserido.

6.1.4. Placas estruturais

Uma ferramenta de corte é constituída por cinco placas estruturais, que irão dar a forma à mesma. Nessas placas, estão posicionados os punções, matrizes e os respetivos postigos. Como não existe deslizamento nestes componentes, utilizou-se um aço de construção, com referência 1.2311 (DIN 40 CrMnMo 7), para a sua maquinação. Não só tem como vantagem ser fácil de maquinar, mas também o seu custo.

6.2. Tolerâncias e ajustamentos

Para uma boa qualidade no corte da peça, foi necessário respeitar a folga/tolerância entre punções e matrizes. Esta é uma das componentes mais importantes para a durabilidade dos punções e matrizes da ferramenta de corte. A sua correta determinação relaciona-se diretamente com o desgaste entre punções e matrizes. Neste caso, para a matéria-prima que é um aço macio, utiliza-se a constante de valor 20. Segundo a figura 21, a constante utilizada

para um aço macio é 17 mas na JSL, para este material, utiliza-se a constante 20, devido a obter-se um resultado mais duradouro na vida útil dos punções e matrizes.

$$folga = \frac{\varepsilon}{20} = \frac{1,8}{20} = 0,09 \text{ mm} \quad \text{Eq. 1}$$

ε - espessura da banda

O valor encontrado para a folga, é um valor total. Ou seja, terá que se dividir por dois para se saber a folga por lado. Para o caso da ferramenta em desenvolvimento, será 0,045 mm. Esta será a folga aplicada à zona de corte.

Em relação a todos os ajustamentos entre punções e posições, estes necessitam de um ajustamento com uma grande precisão, pois serão estes mesmos posições os responsáveis por guiar todos os punções para o corte. Pode considerar-se que a tolerância mais adequada é H7, como se encontra exemplificado na tabela 6. H7 é um tipo de ajustamento com características “leve, justo e sem folga” utilizado em deslizamentos justos. Para os veios, utilizou-se a tolerância h6, conforme a tabela 6.

Tabela 6 – Tolerâncias de ajuste H7. Adaptada [4].

Tolerâncias de ajuste H7					
Ø (mm)	1 a 3	3 a 6	6 a 10	10 a 18	18 a 30
h6	0	0	0	0	0
	-0,006	-0,008	-0,009	-0,011	-0,013
H7	0	0	0	0	0
	0,01	0,012	0,015	0,018	0,021

Para a aquisição da matéria-prima, foi criada internamente uma tabela de tolerâncias dimensionais (figura 44), para que estas sejam respeitadas e, assim, haja uma utilização correta da ferramenta. É importante que a largura da fita seja respeitada para que não ocorram prisões dentro da ferramenta. A fita tem de deslizar sem qualquer esforço para garantir uma boa alimentação por parte dos rolos da prensa. Como após a estampagem das peças existe uma margem significativa para cada lado, assumiu-se uma tolerância de $\pm 0,2$ mm. Para o caso da espessura, esta medida necessita de um controlo mais detalhado. Como falado anteriormente, as tolerâncias dimensionadas entre punções e matrizes varia com a espessura a cortar. Para isso, a tolerância aplicada é de $\pm 0,04$ mm. A definição destes valores foi uma decisão interna, de forma a conseguir-se a maior tolerância para este caso, pois, quanto maior for a exigência, maior será também o custo da matéria-prima.


 TOLERÂNCIAS DAS MATÉRIAS PRIMAS METÁLICAS			
Fitas Metálicas			
Tipo de fita	Valor nominal (mm)	Tolerâncias de espessura (± mm)	Tolerâncias de largura (mm)
Aço Inox	5,7 x 0,3	0,015	+0,1
Aço	11 x 0,95	0,03	+0,1
Aço	14 x 1,2	0,04	+0,2
Aço	16,5 x 1,8	0,04	+0,2
Aço	18 x 0,5	0,02	+0,1
Aço	37,5 x 0,4	0,02	+0,1
Aço	37,5 x 1,8	0,04	+0,2
Aço	48 x 1	0,03	+0,1
Aço	55 x 1,8	0,04	+0,2
Aço	58 x 0,5	0,02	+0,1

Figura 44 - Tolerâncias dimensionais da matéria-prima.

6.3. Dimensionamento da ferramenta

Utilizou-se a mesma sequência de operações da ferramenta antiga como base para desenvolver a zona de corte e estampagem da ferramenta nova. Essas operações podem ser observadas na figura 45. Assim, os parâmetros utilizados para o desenvolvimento foram:

- Curso = 25 mm
- Passo = 20 mm

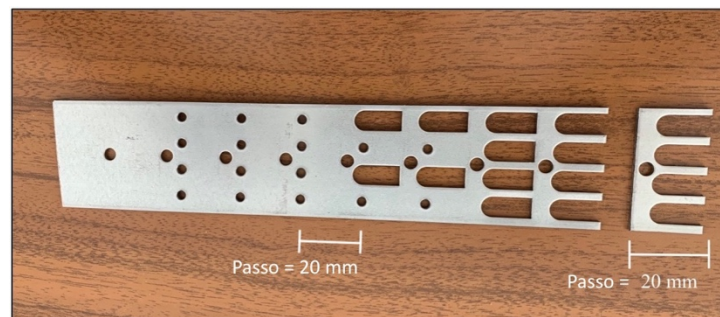


Figura 45- Banda metálica inicial com implantação das peças.

Analisando a banda metálica obtida pela ferramenta antiga, na figura 45, decidiu-se fazer uma separação em quatro estágios, exemplificada na figura 46:

1. Zona de furação de pilotos e furos para roscagem posterior
2. Zona de calcadores
3. Zona de roscagem
4. Zona de corte das peças e separação do rombo

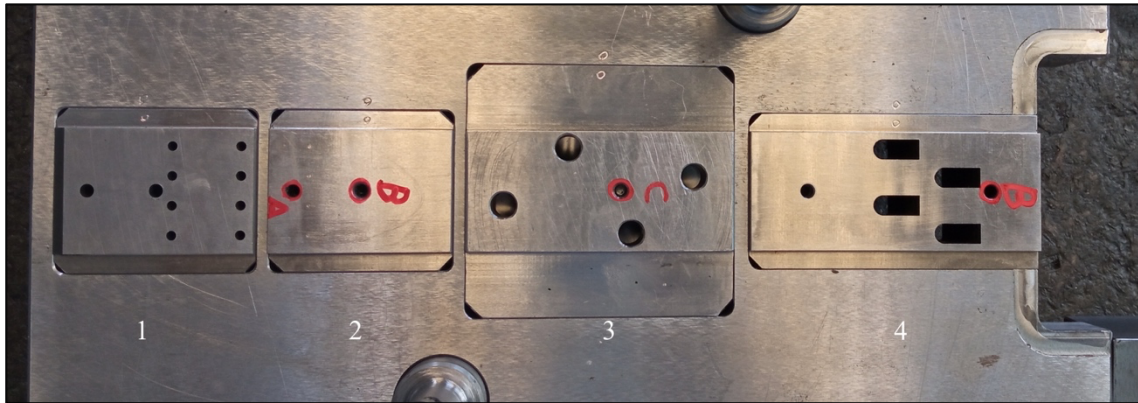


Figura 46- Matrizes dos 4 estágios apresentados.

A ferramenta é composta por quatro matrizes em que cada passo presente dista 20 mm do passo seguinte.

1. Para que haja um correto guiamento da fita, é necessário que existam diversos punções pilotos ao longo do percurso (figura 47). De início, é necessário abrir o primeiro furo e é, nesse mesmo furo, que a fita será guiada. O seu diâmetro é 4,0 mm e é o primeiro furo da primeira matriz. De seguida, realizam-se os furos de diâmetro 2,8 mm, sendo maquinados quatro equidistantes, em simultâneo. Nessa zona, já existe a primeira abertura para o primeiro piloto. Esta operação é fundamental para garantir o correto posicionamento da fita face aos quatro furos. No passo seguinte, e ainda na primeira matriz, foram maquinados quatro orifícios passantes com folga, para que se possa utilizar uns punções “passa - não passa”, que irão acionar um sensor, se pelo menos um dos quatro furos não se encontrar maquinado. Estes punções foram dimensionados com um diâmetro inferior ao do furo de 2,8 mm e estão assentes com uma mola no topo que os obriga a estarem numa posição inicial. Se um dos punções que realiza o furo se partir, um destes irá comprimir a mola e o seu topo irá fazer ativar um sensor que, posteriormente, dará um sinal para a máquina entrar em paragem.

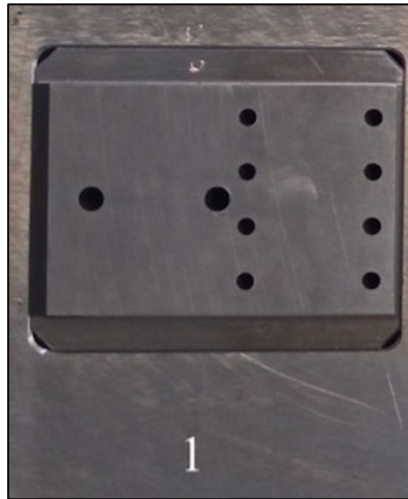


Figura 47 – Zona 1 da ferramenta.

2. No caso da segunda matriz, esta foi desenvolvida dar um maior suporte e guiamento à fita. O furo à esquerda na figura 48, denominado por “A”, é um furo piloto. À direita, encontra-se um furo, não só piloto, mas também irá ter a função de calcador. É estritamente necessário para manter a fita posicionada e fixa à face das matrizes para auxiliar na conformação da rosca nos seguintes passos.

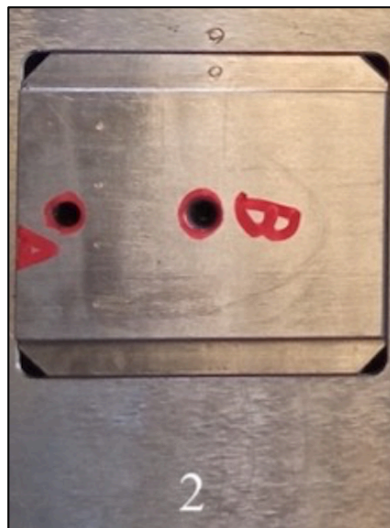


Figura 48 - Zona 2 da ferramenta.

3. Este estágio corresponde apenas à roscagem (figura 49). No centro, pode-se observar mais um furo piloto “C”. Os quatro orifícios de maior diâmetro são as saídas para os machos, para que seja permitido que atravessem a fita o suficiente para a conformação da rosca. Por baixo da matriz 3, encontra-se um depósito para o óleo que tem como função a lubrificação dos machos. Estes, ao roscar e atravessar a fita,

penetram cerca de 50 % do comprimento de rosca, no óleo do depósito. Assim, permite que exista uma lubrificação e extração de limalhas frequente. No fim desse depósito, encontra-se ainda uma tampa de escoamento magnetizada. As limalhas presentes no óleo terão tendência a serem movimentadas até à tampa, ou seja, até ao fundo do depósito.

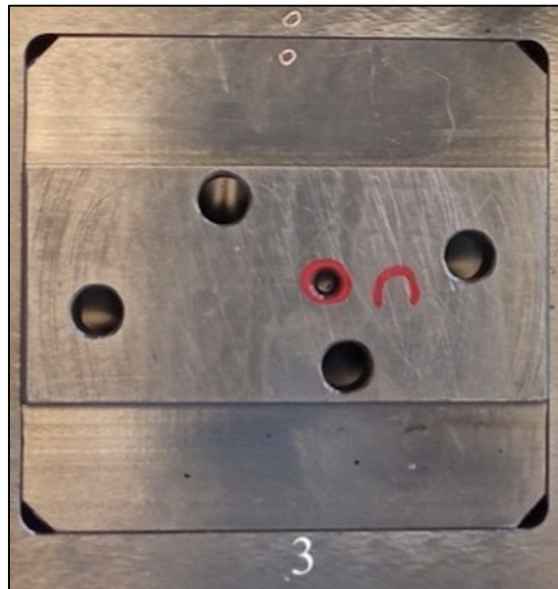


Figura 49 - Zona 3 da ferramenta.

4. Por fim, a última matriz é a matriz responsável pelo corte das peças (ver figura 50). Existe também um piloto/calçador para manter a fita estável e uma roscagem uniforme. O corte das peças é realizado através de quatro orifícios com a configuração exata das garras a retirar. A lateral direita tem como função o corte do rombo de onde se retiraram as garras.

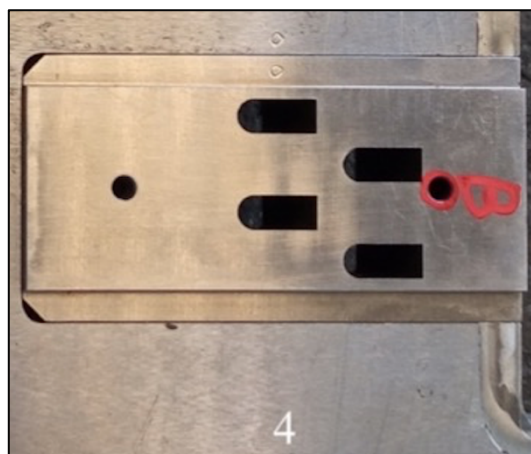


Figura 50 - Zona 4 da ferramenta.

6.4. Caixa de engrenagens

Depois de uma estruturação geral da ferramenta e com o intuito de identificar as dimensões necessárias para a sua construção, decidiu-se dimensionar a caixa de engrenagens. Esta caixa irá situar-se no topo da ferramenta, dando rotação aos machos na vertical. Para que essa rotação seja feita de forma correta e precisa, utilizou-se uns fusos feitos por medida, com 45 graus de inclinação e um passo de 50 mm. A sua configuração encontra-se presente nas figuras 51a e 51b. Assim, ao descer a ferramenta, as engrenagens rodam para um lado, fazendo com que as cabeças de roscar rodem no sentido horário. Ao inverter o sentido da ferramenta, as mesmas engrenagens invertem o sentido de rotação, fazendo com que os machos desatarraxem (sentido anti-horário).

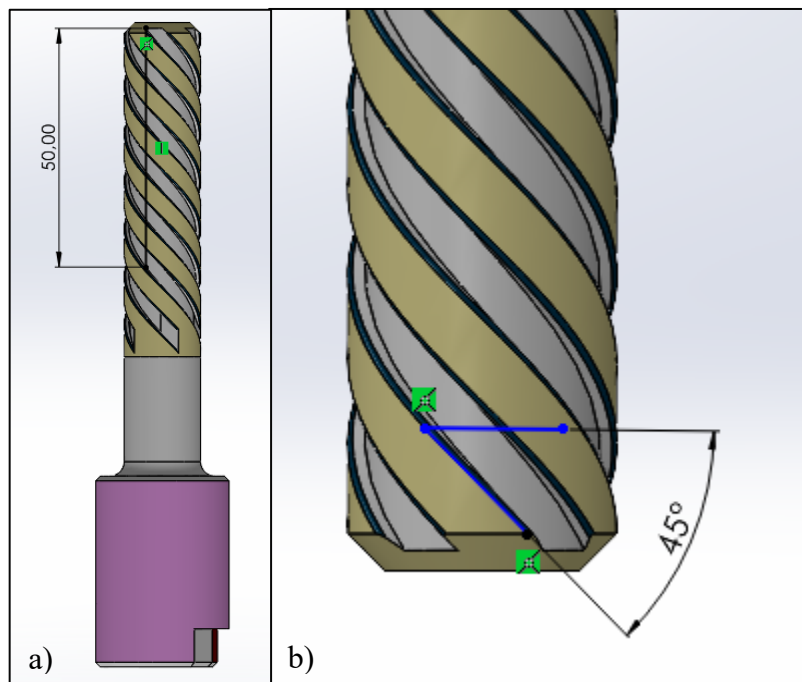


Figura 51 – Características geométricas do fuso: a) Passo e b) Inclinação das espiras.

Para o correto dimensionamento das engrenagens, foi necessário respeitar alguns parâmetros:

- Passo do macho
- Intervalo de velocidade de corte do macho dado pelo fabricante

6.4.1. Passo do macho

Para este caso, foi necessário garantir que, a cada 1,5 mm de deslocamento da ferramenta, cada macho adquira uma rotação completa. Este aspeto é fundamental para que se obtenha uma rosca bem feita, sem danificar os machos precocemente. Assim, foi necessário multiplicar a rotação das engrenagens, desde a engrenagem que se encontra acoplada ao fuso, até às engrenagens dos machos. As figuras 52a e 52b, exemplificam a série de engrenagens escolhida com uma vista de topo e uma vista de baixo.

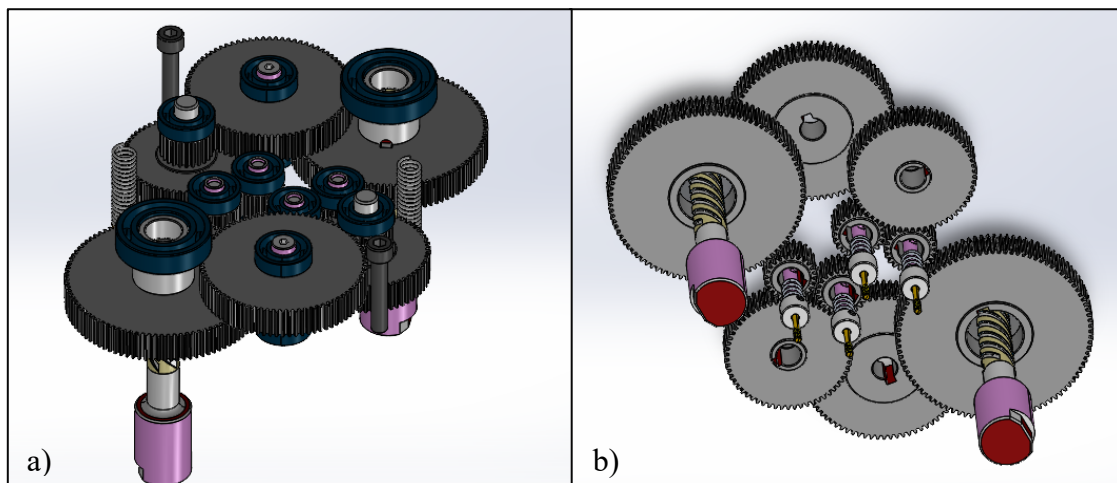


Figura 52 – a) Caixa de engrenagens vista de topo e b) Caixa de engrenagens vista de baixo.

Para uma melhor explicação, são apresentados os cálculos realizados para um lado das engrenagens, sendo que o lado oposto trabalha de forma igual. As figura 53a e 53b, mostram os diâmetros selecionados para as engrenagens. Estes mesmos diâmetros foram escolhidos por tentativas até obter, através do conjunto, a rotação pretendida.

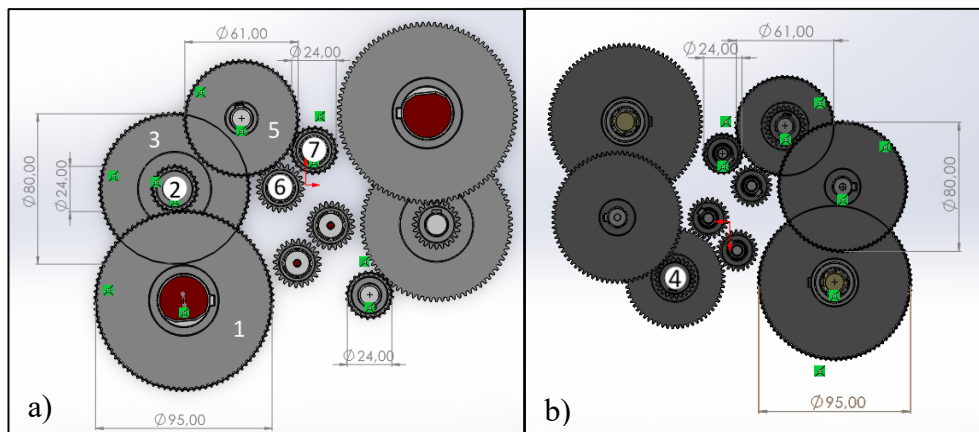


Figura 53 – Sistema de engrenagens com medidas: a) Vista de topo e b) Vista de baixo.

Separou-se o sistema de engrenagens em três subsistemas, presentes na figura 54, para uma análise mais detalhada. No primeiro conjunto de engrenagens existe a engrenagem 1, que recebe a rotação vinda do fuso, e transmite-a para a engrenagem 2. No segundo subsistema, a engrenagem 2 está acoplada à engrenagem 3, que transmite rotação para a engrenagem 4. O último subsistema é idêntico ao segundo, com a diferença que, no final, tem duas engrenagens, 6 e 7, conectadas a cada macho. A razão pela qual se utilizou estes três subsistemas, é a multiplicação da rotação das engrenagens, de modo a aplicar a rotação correta nos machos.

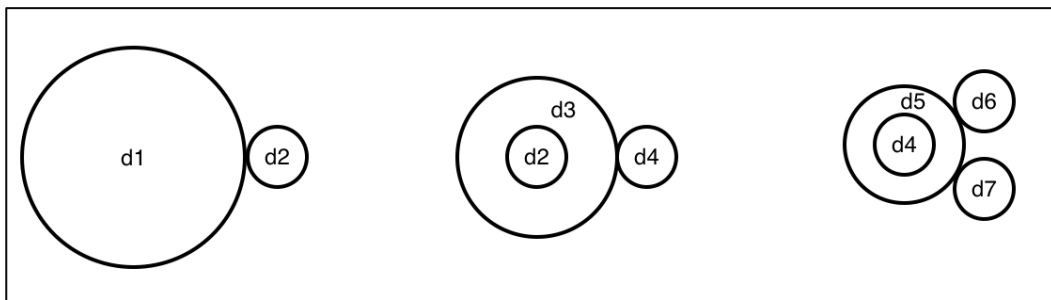


Figura 54 – Pares de engrenagens.

A tabela 7 mostra a relação de diâmetros e perímetros entre as engrenagens. Estes valores foram utilizados para realizar os cálculos de rotação para cada engrenagem.

Tabela 7 - Engrenagens e os seus perímetros.

Engrenagem	Diâmetro [m]	Perímetro [m]	
1	0,095	$19 \pi/200$	0,2985 m
2	0,024	$3 \pi/125$	0,0754 m
3	0,080	$2 \pi/25$	0,2513 m
4	0,024	$3 \pi/125$	0,0754 m
5	0,061	$61 \pi/1000$	0,1916 m
6	0,024	$3 \pi/125$	0,0754 m
7	0,024	$3 \pi/125$	0,0754 m

Tendo em conta o passo do fuso utilizado, sabe-se que uma volta completa da engrenagem d1 equivale a 50 mm de deslocamento no eixo vertical. Para cada rotação

completa do macho, a ferramenta desloca-se 1,5 mm e, a partir deste valor, calculou-se a rotação da primeira engrenagem:

$$Rotação\ 1 = R1 = \frac{1,5\ mm}{50\ mm} = 0,03\ voltas \quad \text{Eq. 2}$$

Calculou-se então o perímetro percorrido por cada engrenagem.

Perímetro percorrido pela engrenagem 1 (Pd1):

$$Pd1 = rotação * perímetro = R1 * P1 = 0,03 * \frac{19\pi}{200} = \frac{57\pi}{20000} = 0,00895\ m \quad \text{Eq. 3}$$

A distância percorrida pela engrenagem 1 será igual à distância percorrida pela engrenagem 2.

$$Pd1 = Pd2$$

A rotação da engrenagem 2 foi calculada, considerando que uma volta é $\frac{3\pi}{125}$:

$$R2 = \frac{Pd2}{P2} = \frac{\frac{57\pi}{20000}}{\frac{3\pi}{125}} = \frac{19}{160} = 0,1188\ voltas$$

Como a engrenagem 2 se encontra acoplada à engrenagem 3, a rotação é igual para ambas. Calculou-se, assim, a distância percorrida pela engrenagem 3:

$$R3 = R2$$

$$Pd3 = R3 * P3 = \frac{19}{160} * \frac{2\pi}{25} = \frac{19\pi}{2000} = 0,0298\ m$$

Considera-se que a engrenagem 4 percorre a mesma distância da engrenagem 3 pois são duas engrenagens em contacto. Assim calculou-se a rotação dada pela engrenagem 4:

$$Pd4 = Pd3$$

$$R4 = \frac{Pd4}{P4} = \frac{\frac{19\pi}{2000}}{\frac{3\pi}{125}} = \frac{19}{48} = 0,3958 \text{ voltas}$$

Como no caso das engrenagens 2 e 3, para a engrenagem 4 e 5, a rotação mantém-se igual entre si.

$$R4 = R5$$

$$Pd5 = R5 * P5 = \frac{19}{48} * \frac{61\pi}{1000} = \frac{1159\pi}{48000} = 0,0759 \text{ m}$$

Por fim, a distância percorrida pela engrenagem 5 é a mesma das duas engrenagens 6 e 7 que contêm as cabeças de roscar.

$$Pd6 = Pd7 = Pd5$$

$$R6 = R7 = \frac{Pd6}{P6} = \frac{\frac{1159\pi}{48000}}{\frac{3\pi}{125}} = 1,0060 \text{ voltas} \approx 1 \text{ volta}$$

Após todos os cálculos acima realizados, concluiu-se que, utilizando esta relação de engrenagens, cada macho adquire a rotação pretendida. Para cada deslocamento de 1,5 mm no eixo vertical, o macho adquire uma volta completa.

6.4.2. Intervalo da velocidade de corte dado pelo fabricante

Outro aspeto importante para garantir uma boa formação de rosca e uma utilização correta dos machos face à sua vida útil, é o intervalo de velocidade utilizado. O intervalo de velocidade de corte dado pelo fabricante é 20 a 25 m/min.

Tendo em conta que o macho tem um diâmetro de 3 mm, calculou-se a velocidade angular para a engrenagem a que se encontra acoplado. Posteriormente, transferiu-se essa velocidade pelas engrenagens associadas, de modo a perceber qual a velocidade ideal de utilização da ferramenta. Este aspeto é fundamental, pois não se sabe se é uma velocidade admissível para a prensa onde a ferramenta irá ser utilizada. Os cálculos foram realizados para o mínimo e máximo valor do intervalo de velocidades para o macho. Cálculo do perímetro do macho, em metros:

$$P = 2 * \pi * 1,5 * 10^{-3} = \frac{3\pi}{1000} \quad \text{Eq. 4}$$

P – Perímetro

A partir do perímetro do macho e da velocidade de corte, calculou-se a velocidade angular em cada engrenagem. Como apresenta a tabela 8, alguns valores de velocidade angular são considerados iguais pois são duas engrenagens que se encontram acopladas e colineares. O intervalo de valores registado para a engrenagem inicial (engrenagem acoplada ao casquilho que trabalha com o fuso) é 63,2775 rpm e 79,0968 rpm. Como o fuso tem um passo de 50 mm e o curso da ferramenta são 25 mm, então a velocidade de trabalho da prensa é igual à velocidade da primeira engrenagem. Cada ciclo da prensa realiza um movimento de 25 mm para baixo mais 25 mm para cima até ao ponto morto superior, fazendo assim os 50 mm totais. A velocidade de trabalho da prensa deverá ser superior a 63,2775 rpm e inferior a 79,0968 rpm para que se garanta uma correta utilização dos machos.

Tabela 8 – Velocidade de rotação das engrenagens.

Engrenagem	Diâmetro [mm]	Velocidade de rotação [rpm] para v=20 m/min	Velocidade de rotação [rpm] para v=25 m/min
7	24	2122,0659	2652,5824
6	24	2122,0659	2652,5824
5	61	834,9112	1043,6390
4	24	834,9112	1043,6390
3	80	250,4734	313,0917
2	24	250,4734	313,0917
1	95	63,2775	79,0968

6.5. Placas estruturais

A estrutura da ferramenta só pode ser dimensionada após se definir alguns aspectos fundamentais. Após se decidir a sequência de operações e todos os mecanismos da caixa de engrenagens, projetaram-se as placas. De modo a incorporar as engrenagens na ferramenta, necessitou-se de maquirar uma placa extra. No topo da ferramenta, utilizou-se outra placa maquinada para trabalhar em conjunto com a placa porta punções. Essas duas placas são apertadas uma na outra, maquinadas para receber as respectivas engrenagens e punções. Na figura 55 observa-se as placas de aço prontas a serem maquinadas. O aço selecionado para estes componentes foi o 1.2311 (DIN 40 CrMnMo 7). Este material é um aço de construção e utiliza-se pelas suas boas características de maquinação pois não é um aço muito duro. Como não é necessária a aplicação de forças excessivas, este aço torna-se uma boa escolha devido ao seu baixo custo.



Figura 55 – Placas de aço 1.2311.

Na figura 56, observa-se a maquinação que foi realizada para acoplar as engrenagens. Os processos de fabrico dedicados a estes elementos foram a fresagem por comando numérico, de modo a obter todos os círculos com os diâmetros pretendidos e todas as restantes geometrias. Nas situações em que existe geometrias mais complexas, onde é impossível a utilização de uma fresa, como geometrias com cantos interiores retos, a maquinação foi realizada por eletroerosão.

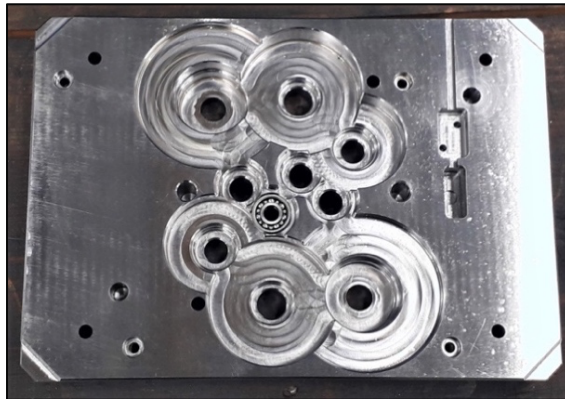


Figura 56 – Maquinação da caixa de engrenagens.

6.6. Punções, pilotos e calcadores

Neste subcapítulo abordam-se as dimensões e do tipo de punções, pilotos e calcadores escolhidos para a ferramenta.

6.6.1. Punções

O primeiro punção de corte é o punção que servirá de guiamento da fita durante todo o processo. Esse punção é um punção redondo de diâmetro 4 mm, feito em HSS e seguindo a norma DIN9861. De seguida, foram projetados os punções de corte para os furos a roscar. Para estes punções em particular, é necessário haver um grande controlo dimensional na zona de corte, ou seja, o diâmetro de 2,8 mm no furo tem de ser respeitado com uma tolerância bilateral de 0,02 mm. Se este valor não for respeitado, então a rosca irá sair com uma má formação.

Como se pode observar nas figuras 57a e 57b , a roscagem desenvolveu alguma rebarba. Essa rebarba, deve-se ao facto de utilizar punções com o diâmetro inferior ao indicado. Como o volume de material se conserva neste tipo de roscagem, o material “a mais” terá que se deslocar para algum local. Este é forçado a colocar-se nas extremidades da rosca, aumentando assim a sua espessura. Para além de não respeitar a geometria da peça, será uma das principais causas de diminuição da vida útil dos machos.

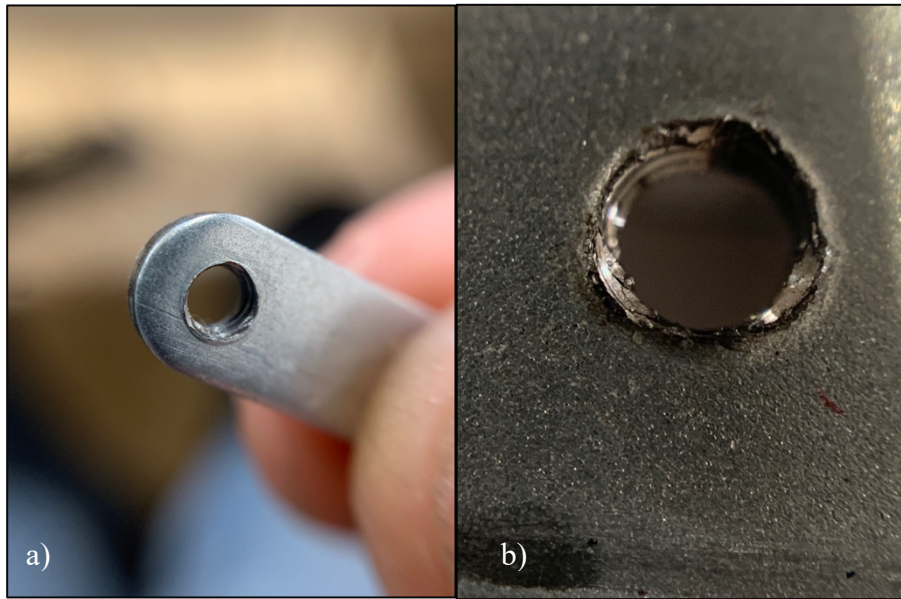


Figura 57 – Rebarba proveniente da roscagem: a) Rebarba na face inferior da peça e b) Rebarba na face superior da peça.

Para que haja um correto guiamento dos machos, decidiu-se realizar chanfros com 0,2 mm na zona de entrada das roscas. Para isso, idealizou-se inicialmente, a utilização de dois punções. O primeiro punção realiza o furo e um segundo punção no passo seguinte, realiza o chanfro. O punção de corte dos furos é um punção semelhante ao que abre o furo para os pilotos. Apresenta as mesmas características, mas tem um rebaixamento na ponta para 2,8 mm (zona de corte). A justificação para esta maquinação é a atribuição de robustez ao elemento. O punção que realiza os chanfros é igual, mas a sua maquinação na zona inferior é apenas 45° de inclinação.

Por último, desenvolveram-se os punções de corte das figuras. Esses punções são maquinados de raiz internamente, utilizando como material denominado BCW ou k460 (de referência 1.2510). Este aço tem boas características para tratamentos térmicos como têmpera e revenido. Para a sua conceção, são inicialmente maquinados em erosão por fio, contando com uma sobreespessura de, aproximadamente, 0,1 mm. Esta sobreespessura deve-se ao facto de, após os tratamentos térmicos, as peças tenderem a ganhar empenos. A dureza solicitada para os punções é 62 HRC. A tabela 9 mostra o intervalo de dureza a que o material em questão pode ser submetido.

Tabela 9 – Tratamentos térmicos.

Tratamentos térmicos	Temperatura	Meio de arrefecimento	Dureza
Têmpera	790 - 850°C	Óleo	62 - 66 HRC
Revenido	180 - 550°C	Ar	44 - 62 HRC

Para finalizar a maquinação, os punções são retificados, tendo em conta as tolerâncias aplicadas na ferramenta. A zona de guiamento do punção não pode ter uma tolerância maior do que 0,02 mm em relação ao postigo onde desliza. Esta restrição deve-se à necessidade de um correto guiamento dos punções. Em relação à zona de corte, tendo em conta a espessura a cortar, a tolerância bilateral é de 0,025 mm.

6.6.2. Pilotos

Os pilotos são elementos fundamentais numa ferramenta. Têm como principal função, o guiamento da fita no sítio correto. Sem os pilotos, é impossível garantir o passo da ferramenta e, desta maneira, a geometria da peça final iria variar. Estes componentes são maquinados através de punções HSS iguais aos punções de corte. Na sua extremidade, maquina-se um bico com cerca de 15° de inclinação, exemplificado na figura 58.

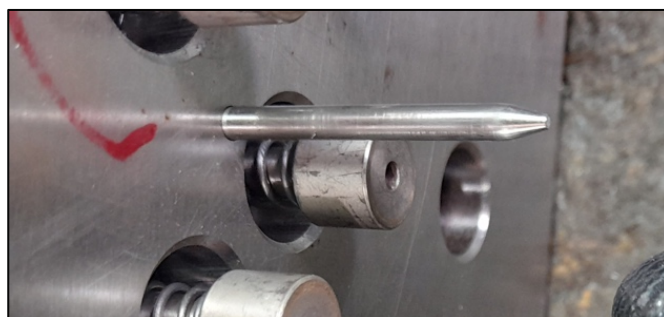


Figura 58 – Punção piloto aplicado na ferramenta.

6.6.3. Calcadores

É usual utilizar este tipo de componentes em ferramentas que necessitam de fixar a fita junto à superfície das matrizes, para alguma quinagem ou estampagem. Para este caso, pretende-se que os punções de corte, ao se movimentarem para cima, não levantem a fita até embater na placa guia. De outra maneira, não se consegue garantir uma boa formação da

rosca. Foram projetados dois calcadores, em que cada um se situa nas extremidades da zona a roscar (início e fim). Pode-se observar a sua geometria nas figuras 59a e 59b. Utilizaram-se punções em HSS, mas com a cabeça cilíndrica. Esta alteração deve-se à necessidade de colocação de uma mola para que o calcador a comprima na altura em que os machos se encontram a efetuar a rosca. Assim, a fita permanece estável e imóvel na altura de formação de rosca. Estes calcadores são maquinados na extremidade, de modo a permitir que atravesse a fita e que o rebordo faça a função de calcador. Na figura 59b, visualiza-se que o chanfro de entrada dos calcadores foi maquinado com 45°. A altura de 2,0 mm no corpo maquinado do calcador deve-se ao facto de a espessura da matéria-prima ser 1,8 mm. A figura 59c ilustram-se calcadores já maquinados e montados na ferramenta.

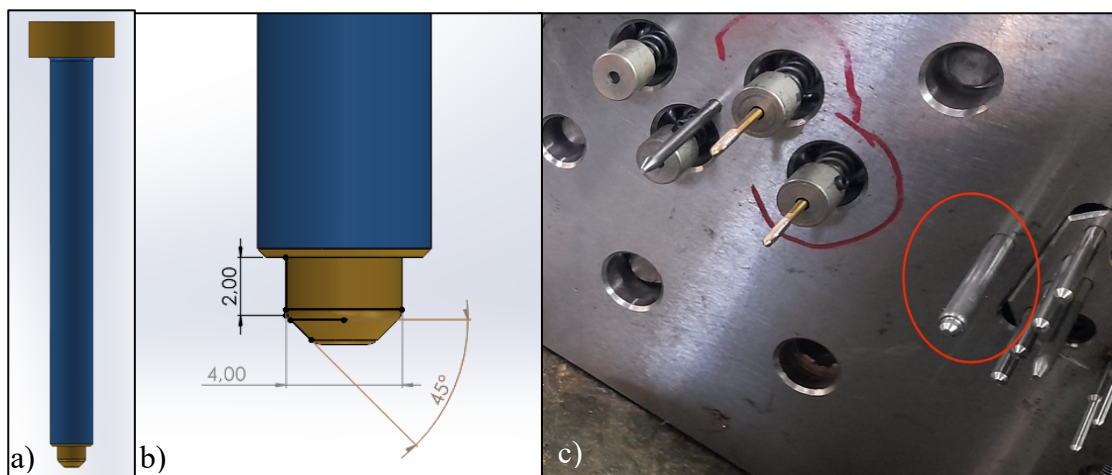


Figura 59 – Calcadores: a) Desenho do calcador visto de perfil; b) Dimensões da zona maquinada do calcador e c) Calcador maquinado já aplicado na ferramenta.

6.7. Guiamento

A zona de guiamento é responsável por colocar os punções no local correto para que estejam centrados com as matrizes. A figura 60 mostra a placa guia com os postigos de guiamento acoplados. Para cada punção ou calcador existe um guiamento rigoroso, maquinado em postigos temperados com 0,02 mm de tolerância. Uma dureza elevada, neste caso, é fundamental para aumentar a resistência ao desgaste. Existem casos de ferramentas sem estes postigos temperados que, ao fim de algum tempo de produção, é necessário alterar os pilotos e outros punções por componentes de tamanho acima devido ao desgaste.

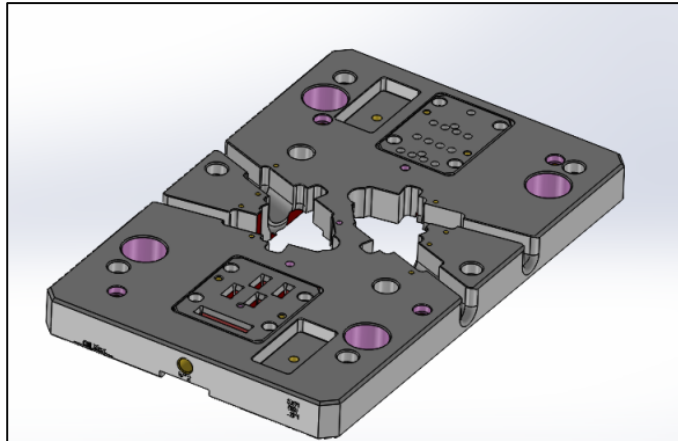


Figura 60 – Placa guia com os postigos acoplados.

A figura 61 exemplifica um punção de corte da garra já ajustado ao postigo correspondente onde irá funcionar. Os postigos são maquinados de forma independente, realizando, posteriormente, o tratamento térmico. A dureza pretendida é de 55 HRC, o que para um componente com esta função, é suficiente.

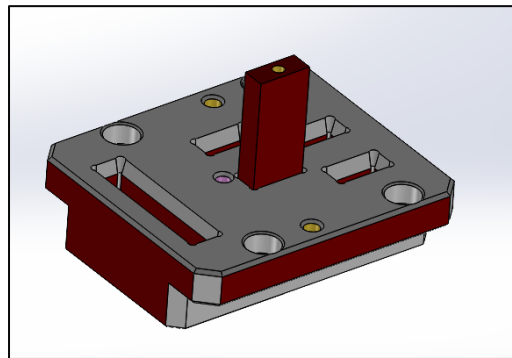


Figura 61 – Ajuste entre o punção e o postigo de guiamento.

6.8. Matrizes

A zona inferior da ferramenta é o local onde se localizam as matrizes de corte. Para o dimensionamento correto da matriz, foi necessário analisar os tipos de saídas de rombos/peças existentes, pois cada tipo de material adapta-se de uma melhor forma a uma saída da matriz. Após análise detalhada, verificou-se que existem três tipos de escoamento, podendo observar-se na figura 62.

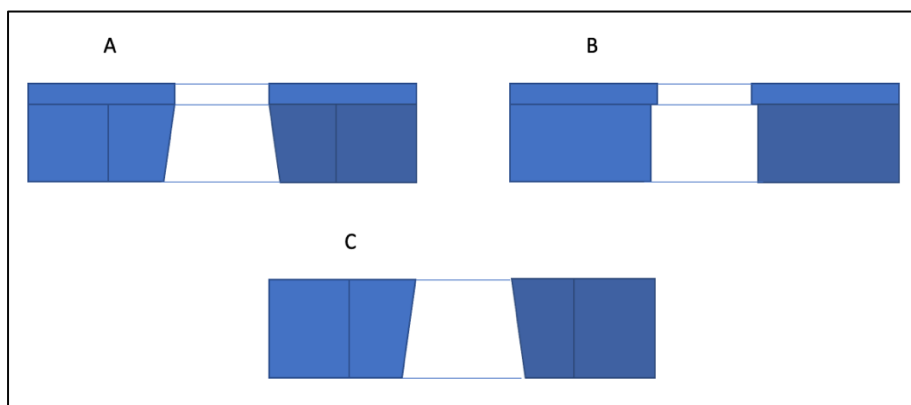


Figura 62 – Tipos de saídas de matrizes.

A matriz A apresenta uma zona vertical que se denomina de vida da matriz. Esta zona é a região responsável pelo corte e é também a zona que garante as medidas finais da peça. Após uma grande utilização, a matriz irá ficar com algum desgaste, obrigando, assim, a uma retificação. Essa maquinação não pode ultrapassar a vida da matriz. A zona da saída é maquinada com 1° a 3° de inclinação. Esta zona tem como função, garantir um escoamento dos rombos/peças, sem que haja uma prisão de vários componentes em cima uns dos outros.

No caso da matriz de tipo B, é uma geometria muito utilizada pelo facto de ter uma saída mais repentina. No final do corte, a saída é maquinada com, pelo menos, 0,2 mm de folga para a saída do material. Por um lado, é uma saída mais eficaz, mas, por outro, torna a matriz mais frágil devido à falta de material na zona inferior à zona de corte.

Por último, existe um tipo de matriz que apresenta uma zona de corte completamente em ângulo. Embora este ângulo seja bastante pequeno, este tipo de matriz destina-se a componentes de pequenas espessuras e forças de corte.

A matriz A destina-se a ferramentas com bastante utilização, devido à espessura de “vida”. Denomina-se vida da matriz, à espessura vertical de material presente na matriz, possível de retificar após desgaste. A matriz pode ser retificada até à zona de inclinação para escoamento de peças. No caso da matriz B, esta é utilizada em materiais mais dúcteis. Estes mesmos materiais produzem rebarbas que, por muitas vezes, oferecem resistência no seu escoamento. Assim, após a vida da matriz, existe uma abertura repentina facilitar a saída de peças. A matriz C destina-se apenas a pequenas produções. Cada vez que se realiza uma retificação à matriz, as dimensões de corte aumentam, devido à inclinação constante de escoamento das peças. Após esta análise, decidiu-se que, para o corte da fita de aço de 1,8 mm de espessura, a matriz A era a mais indicada, devido à sua robustez e capacidade de grandes produções.

6.9. Depósito de óleo

A lubrificação dos machos foi uma das principais preocupações para conseguir uma correta formação da rosca. Para isso, e para que a lubrificação fosse controlada, dimensionou-se um depósito de óleo com comunicação ao exterior da ferramenta. Os machos, ao atravessarem a fita, penetram o óleo que se encontra dentro do depósito. Cerca de metade do comprimento do macho agarra o óleo que será utilizado na roscagem seguinte. Junto à zona inferior do depósito, zona A da figura 63a, existe uma ligação a um tubo. Esse mesmo tubo está conectado a um componente com um medidor de nível (zona B da figura 63a). Desta maneira, o operador pode observar o nível de óleo da ferramenta sem ter de a desarmar. Na figura 63b, pode-se observar que o depósito de óleo contém um parafuso com uma anilha de cobre, para se poder retirar o óleo de forma fácil. Por trás da peça de latão, encontra-se o tubo de óleo que dará comunicação ao nível. Na união acoplada à zona de verificação do nível de óleo, coloca-se um tubo de borracha transparente. Esse tubo tem a altura exata correspondente ao limite de enchimento de óleo no depósito.

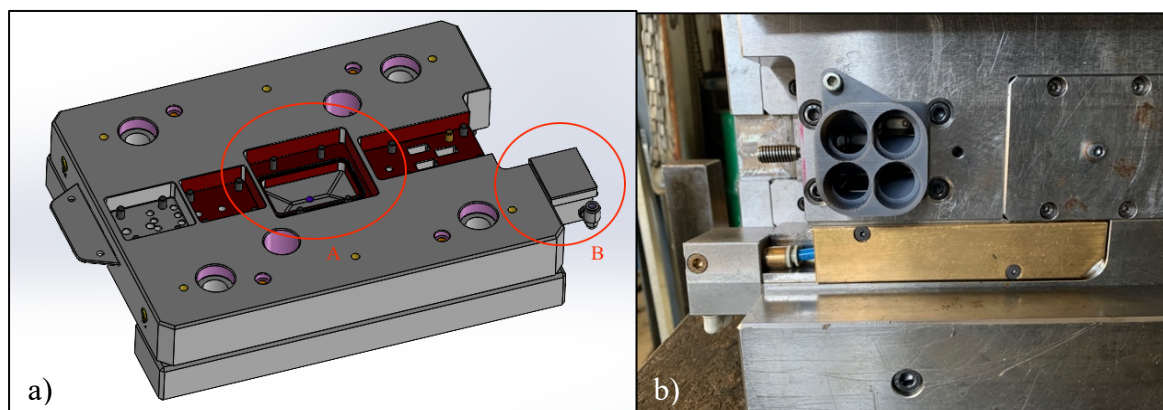


Figura 63 – Depósito de óleo: a) Zona A e B do sistema de lubrificação dos machos e b) Depósito de óleo já maquinado e montado.

6.10. Sensores

O sistema de sensores é um sistema de inovação numa ferramenta de corte progressivo. Foi desenvolvido para a deteção de quaisquer falhas da ferramenta. Após a conceção geral da ferramenta, foi decidida a colocação de sensores em duas zonas. Na figura 64, pode-se observar a zona A e a zona B, que são os locais na fita, correspondentes à ferramenta, onde foram colocados sensores.

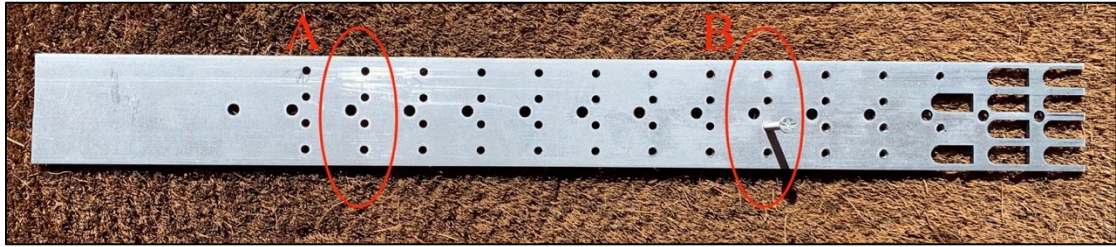


Figura 64 – Zonas de aplicação de sensores.

6.10.1. Zona A

O sensor aplicado a esta zona tem como função a deteção de algum punção (que forma os furos redondos) partido. No passo seguinte à primeira furação, colocaram-se quatro elementos com diâmetro de 2,5 mm, como mostra a figura 65a. Estes componentes, através de molas aplicadas no topo, fazem acionar o sensor. O sensor selecionado consta na figura 65b. Se um ou mais destes punções partirem, estes elementos serão forçados a elevar-se e acionar o sensor. Parte do sistema pode ser observado, delimitado a vermelho, já maquinado e montado, na figura 65c.

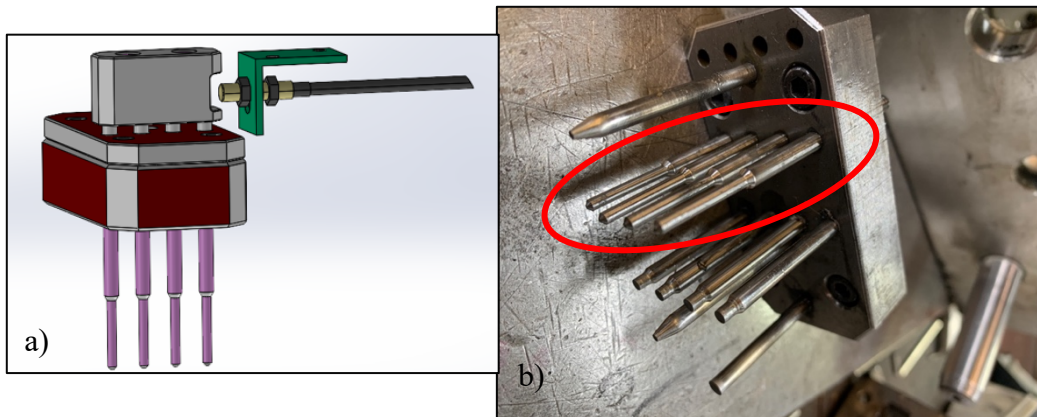


Figura 65 – Primeiro sensor: a) Sistema de paragem da máquina projetado e b) Punções de deteção já maquinados e montados.

Selecionou-se um sensor indutivo da marca OMRON, cujas características se encontram presentes na tabela 10. Apresenta a capacidade de identificação de componentes metálicos. É uma enorme vantagem, dado permitir o seu funcionamento em contacto com óleos, massa consistente e outro tipo de lubrificantes que sejam expelidos involuntariamente para o sensor. O mesmo opera na forma “normalmente aberto”. Após a subida da barra metálica, o circuito ficará fechado, dando sinal para parar a máquina.

Tabela 10 - Características sensor OMRON para os punções dos furos

Item	E2A-M18KS08-WP-B1
Distância de detecção	8 mm ± 10 %
Distância a definir	0 a 6,4 mm
Alvo	Metal ferroso
Alvo padrão (Aço ST37)	24 x 24 x 1 mm
Frequência de resposta	500 Hz
Tensão de operação	12 a 24 VDC
Consumo de corrente	10 mA max.
Tipo	PNP

6.10.2. Zona B

A segunda zona de sensores, contém 4 sensores iguais entre si. Esses sensores detetam a zona roscada de cada macho, presente na figura 66a. Os suportes onde se encontram apertados, têm ajuste para garantir uma correta detecção (figura 66b). Ao contrário da zona A, estes sensores necessitam de operar sob a forma “normalmente fechado”. O circuito encontra-se fechado no momento em que cada sensor deteta o macho. Assim que o macho se fratura, o circuito passa a aberto, interrompendo o sinal e, posteriormente, pára a máquina. Na tabela 11, é possível observar o modelo utilizado e as suas características.

Tabela 11 - Características sensores HASCO zona B

Item	HASCO Z 1472 / 3 X 12 X 1
Distância de detecção	3 mm
Distância a definir	0,3 a 2,4 mm
Alvo	Metal ferroso
Frequência de resposta	500 Hz
Tensão de operação	10 a 35 VDC
Consumo de corrente	120 mA
Tipo	Contacto NO PNP

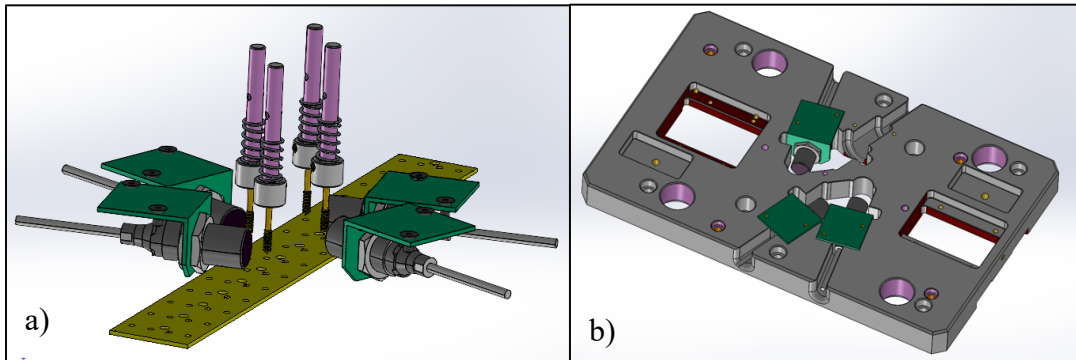


Figura 66 – Sensores para os machos: a) Sensores na zona de deteção dos machos e b) Zona de aperto dos sensores.

6.11. Quadro elétrico

Para que houvesse uma correta comunicação entre todos os sensores, projetou-se um pequeno quadro elétrico. Na tampa, foram colocadas cinco luzes LED com a respetiva numeração de cada sensor. Os cinco leds pertencem ao sensor que identifica um punção partido e aos quatro sensores que detetam a presença de cada macho. Estes componentes podem ser observados na figura 67. No decorrer de uma anomalia, o sensor que for acionado irá dar sinal acendendo o led no painel. Qualquer um dos erros pode ser apagado através de um botão de “reset”. Esse mesmo erro só irá apagar, se o sensor voltar ao seu estado normal, isto é, se o problema estiver resolvido. Para que seja possível retirar a ferramenta da máquina para a sua reparação, utiliza-se o botão de reset. Ao pressionar continuamente o botão, está-se a operar a máquina sem sensores. Assim, é permitido retirar a ferramenta da sua posição de esforço. No início da produção, ao ligar a máquina, este quadro acende todas as luzes led, de forma a mostrar ao operador que todas as luzes se encontram operacionais para evitar erros.



Figura 67 – Quadro elétrico com sensores.

6.12. Separação de peças

Para complementar os sensores utilizados na ferramenta, desenvolveu-se uma peça com o objetivo de separar as quatro peças produzidas por cada ciclo. Essa peça de separação, presente na figura 68a, é colocada na parte inferior da ferramenta e apresenta quatro orifícios coincidentes com as saídas das peças. Esta peça foi produzida em impressora 3D pois o tempo de produção é menor face a uma maquinação convencional em aço e também é um método onde a concepção de geometrias complexas torna-se mais fácil. O material utilizado foi uma resina própria para prototipagem, da marca Formlabs e referência FLDRBL01, pois é o material utilizado na JSL pela equipa de Desenvolvimento e Investigação. Este componente não se encontra sob qualquer esforço que justifique a utilização de um material mais resistente. A existência deste componente deve-se ao facto de se poder desafinar ou mesmo partir um macho, sem que os sensores atuem. Os orifícios de saída do separador de peças foram projetados para se colocar 4 tubos de PVC com 16 milímetros de diâmetro, para fazer o guiamento das peças até aos seus reservatórios. Na figura 68b, pode-se observar o conjunto de separação de peças já montado e pronto a funcionar. A zona partida pode não ser suficiente para a deteção do macho. Este componente serve também para o desgaste dos machos. Se alguma garra apresentar prisões na rosca formada, pode ser necessário a substituição do macho por elevado desgaste. Após esse controlo, só é desperdiçado o conjunto de peças referentes a esse mesmo macho.

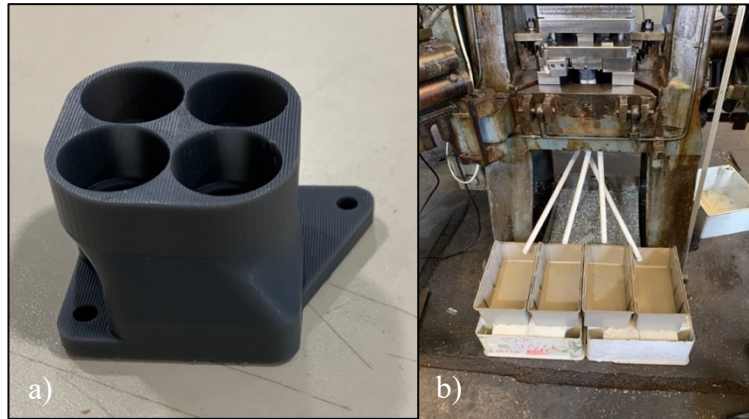


Figura 68 – Separador de peças: a) Separador impresso em impressora 3D;
b) Separador e respetivos tubos já montados.

Na figura 68a, existem dois furos de aperto à ferramenta. A espessura da peça foi desenvolvida como um “fusível” para a ferramenta. Se houver alguma peça que fique entalada, é ideal que este componente se danifique, de forma a não danificar a ferramenta. Assim, o separador irá fissurar pela zona de maior fragilidade.

7. Problemas e melhorias

Grande parte dos projetos, após a sua execução, sofrem alterações. Essas mesmas alterações estão relacionadas com melhorias ou mesmo correções de alguma má definição. Após toda a maquinação, montagem do equipamento e primeiros ensaios, detetaram-se os primeiros problemas, que se encontram descritos, por ordem cronológica, acompanhados da respetiva solução.

7.1. Assentamento de dois rolamentos mal definido

O primeiro ensaio da ferramenta resultou na destruição de diversos componentes. Ambos os fusos e os respetivos casquilhos em bronze ficaram danificados. O esforço foi provocado por uma prisão que não deixou que os casquilhos rodassem, na altura em que a prensa fechava a ferramenta. As figuras 69a e 69b, mostram o resultado do problema nos fusos. A figura 69c, corresponde apenas ao resultado do casquilho após o incidente.



Figura 69 - Resultados do primeiro ensaio: a) Fuso danificado ainda na ferramenta; b) Fuso danificado após abertura da ferramenta e c) Casquilho danificado.

Após se desarmar a ferramenta, percebeu-se que o erro estava associado a uma prisão no movimento das engrenagens. Assim, analisou-se o projeto 3D do conjunto e verificou-se que havia duas situações em que os rolamentos tinham a pista interna e pista externa, assentes sob a mesma face. Ao ser criada pressão, esta impossibilitou o seu movimento, fazendo com que ficassem encravados. Como a força da prensa é superior à resistência nos casquilhos ou mesmo nos fusos, estes danificaram-se, sendo mesmo necessário a sua substituição. Na figura 70, pode-se observar as duas zonas defeituosas que se encontram circundadas a vermelho. As caixas maquinadas para a colocação dos rolamentos tinha a face lateral completamente lisa, onde as pistas interna e externa do rolamento se encontravam assentes.

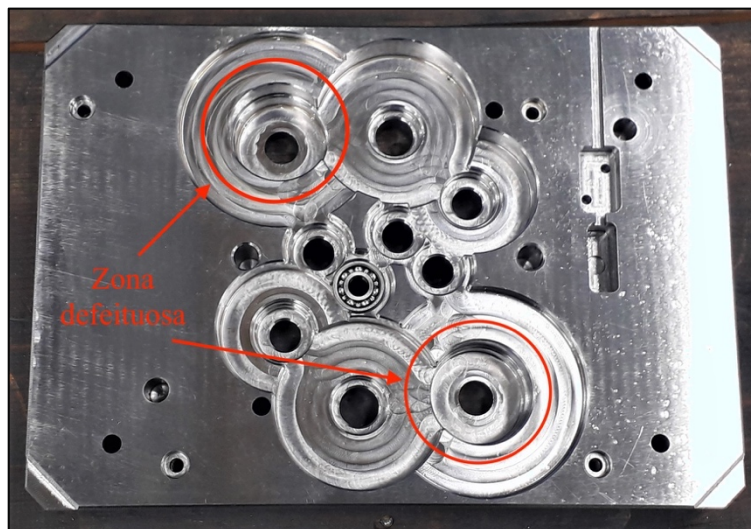


Figura 70 – Zonas de assentamento dos rolamentos defeituosas.

Para resolver esta anomalia, rebaixou-se nessas duas faces, um anel com 0,3 mm de espessura, de forma a permitir que a pista interna dos rolamentos ficasse suspensa. Após essa maquinação, montou-se a ferramenta e realizaram-se ensaios. A ferramenta abria e fechava corretamente sem esforços alguns. A mesma, apenas com o seu peso, fechava-se sem qualquer auxílio.

7.2. Rosca mal formadas devido à utilização de molas não apropriadas

Depois da resolução da primeira anomalia, colocou-se a ferramenta na máquina já com os machos inseridos. Ensaçou-se a ferramenta e retiraram-se as primeiras peças. A rosca formada pelos machos estava com defeito. Os parafusos e calibres utilizados para testar a rosca não passavam. Na figura 71a, encontra-se uma garra de pladur defeituosa, com um corte a atravessar o orifício da rosca para a sua análise. Na figura 71b, observa-se uma formação correta da rosca, para que haja uma comparação com a defeituosa. Nota-se uma grande diferença na zona em corte, onde se vê a má formação das espiras relativamente à garra bem formada.

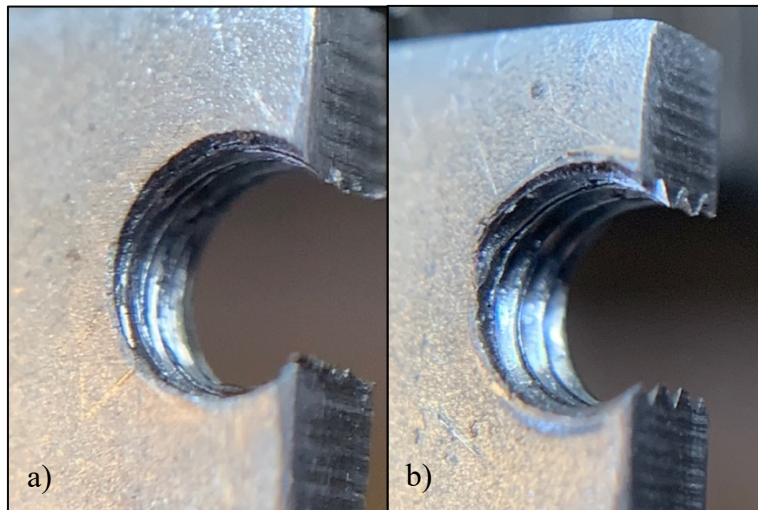


Figura 71 – Zona da rosca vista em corte: a) Rosca defeituosa e b) Rosca bem formada.

Este fenómeno deve-se à utilização de molas, nas cabeças de roscar, não adequadas. Uma cabeça de roscar não pode ser totalmente rígida. Perante um defeito que exista no orifício, ou mesmo perante a sua ausência, é necessário que o macho não se fracture. Desta maneira, utiliza-se uma mola que faz o recuo do macho. Se essa mola não tiver força necessária para que o macho forme a rosca, existirá uma compressão durante a roscagem e a rosca sairá defeituosa.

O diâmetro do arame da mola inicialmente utilizada foi baseado na mola das máquinas de roscar. O diâmetro do arame era de 1,25 mm. Concluiu-se que a força exercida pela mola da cabeça de roscar era inferior à força exercida pela mola das máquinas de roscar (procedimento anterior). Essa diferença passa pelo diâmetro exterior de cada mola.

Baseando na fórmula para calcular a constante elástica k, em que D é o diâmetro externo e d é o diâmetro do arame, pode-se comparar o comportamento de ambas as molas:

$$k = \frac{d^4 * G}{8 * D^3 * N} \quad \text{Eq.5}$$

k - Constante elástica da mola

D – Diâmetro externo da mola

d – Diâmetro do arame da mola

G – Módulo de rigidez do material

N – Número de espiras

Para se poder determinar as dimensões para uma mola nova para a cabeça de roscar da ferramenta nova, criou-se a tabela 10, com as dimensões de ambas as molas utilizadas no processo antigo e no processo novo.

Tabela 12 – Características das molas utilizadas nos machos.

Tipo de mola	Diâmetro intermédio "D" [mm]	Diâmetro do arame "d" [mm]
Mola da máquina de roscar	6,25	1,25
Mola da cabeça de roscar	9	1,25

Com base nas dimensões da mola utilizada na máquina de roscar do processo anterior, igualou-se a equação da constante elástica da mola a uma equação igual mas com as dimensões para a mola nova. Desta maneira, parte-se do princípio que o valor da constante k da mola é igual para ambas. Sabe-se que a mola do processo antigo funciona corretamente logo, igualando o valor de k e mantendo o diâmetro das espiras da mola, determinou-se o diâmetro do novo arame utilizado para a produção da nova mola. Considerou-se que as características de ambas as molas são idênticas (número de espiras e matéria-prima):

$$\frac{1,25^4 * G}{8 * 6,25^3 * N} = \frac{d2^4 * G}{8 * 9^3 * N} \Leftrightarrow d2 = 1,643 \text{ mm}$$

Após se concluir que o valor mínimo para o arame da mola é 1,643 mm, recorreu-se a uma empresa de fabrico de molas para que fossem fabricados componentes novos com uma medida de arame acima do indicado. Essa medida selecionada foi 2,0 mm que, ao ser aplicado na ferramenta, o resultado na formação da rosca foi bastante positivo. Já foi possível observar roscas corretamente formadas onde, passando um calibre, este já atarraxava sem prisões.

7.3. Operação de corte e chanfros em separado

Foi identificado um outro erro no projeto, que teve de ser alterado. Inicialmente, o objetivo seria realizar primeiramente os furos para as roscas e só depois, no passo a seguir, realizar os chanfros. A razão seria, ao fraturar um punção de corte, poder colocar um novo sem ter em atenção a altura do chanfro a ser maquinado.

Na figura 72, pode-se observar os três punções a utilizar. Para este primeiro caso, utilizou-se um punção C, de corte, seguido de um punção B, de chanfro. Após os primeiros ensaios, verificou-se que, ao realizar o corte e, posteriormente o chanfro, este deixava uma rebarba na zona do furo. Este fenómeno deve-se ao facto de não haver um calibre inserido no furo, de modo a preservar as medidas originais do mesmo. O punção B, ao pressionar a aresta do furo, esmagava material para o seu interior. Ao se introduzir um calibre para avaliação da dimensão do furo, identificou-se que a medida não era a desejada. Este processo foi alterado por apenas um punção A, que realiza o corte e o chanfro numa só operação. Quando o punção realiza o chanfro, toda a zona de corte já se encontra inserida na banda. Assim, preserva-se as medidas requeridas e é permitida a maquinação do chanfro. A maior dificuldade, na utilização deste processo, passa por ser necessário a maquinação de quatro punções de corte com chanfro, com as alturas idênticas (máxima diferença entre 0,01 a 0,02 mm). Após a colocação dos punções, é preciso garantir que, após uma revolução da máquina, os chanfros nos furos estão idênticos. O defeito apresentado nas peças ficou resolvido, podendo-se continuar a ensaiar a ferramenta.

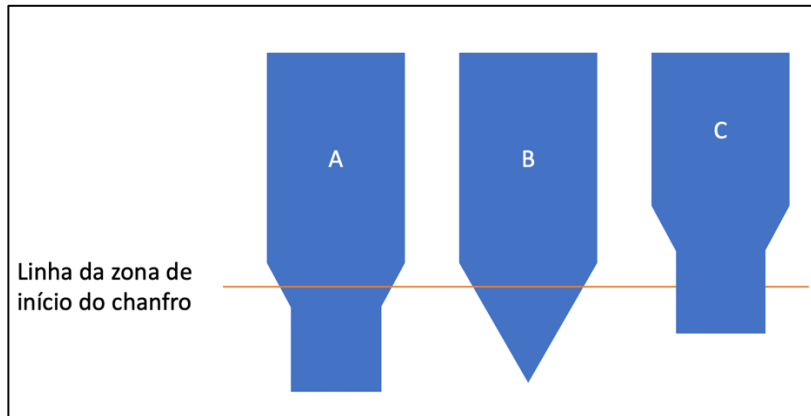


Figura 72 - Diferentes punções utilizados na ferramenta.

7.4. Matrizes com saída incorreta

Posteriormente à resolução dos problemas anteriores, procedeu-se a novos ensaios de produção de lotes de peças. O principal objetivo deste ensaio maior é a verificação da fiabilidade da ferramenta. Os lotes produzidos correspondem a 6000 unidades, ou seja, 1500 ciclos da ferramenta, realizando quatro peças por ciclo. Devido a estas produções de maior dimensão, verificou-se que os rombos, provenientes do corte dos furos para roscar, ficavam entalados na saída da matriz, chegando ao ponto de fraturar os punções. Percebeu-se que a saída utilizada nas matrizes não era a correta. Para este tipo de espessura de material, a saída utilizada fazia uma prisão bastante significativa nos rombos. Assim, como o tipo de matrizes, inicialmente escolhido, não é o mais fiável, alteraram-se as matrizes para o tipo de saída B, conforme mencionado na figura 62. Pode-se observar na figura 73a, a saída inicialmente utilizada. Na figura 73b, verifica-se a saída mais correta que foi posteriormente maquinada. Depois da maquinação das matrizes, realizaram-se novos ensaios em que as peças já escoavam praticamente sem esforço.

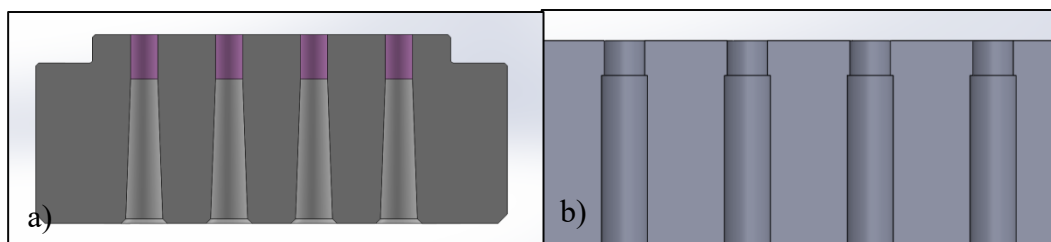


Figura 73 – Tipos de matrizes utilizadas: a) Tipo de saída da matriz utilizada anteriormente e b) Tipo de saída da matriz após ensaios.

7.5. Sistema de adição de óleo

Com o decorrer dos ensaios de lotes de cada vez maior quantidade, verificou-se que, após alguns minutos, o depósito de óleo inicialmente dimensionado ficava sem óleo suficiente para permitir aos machos a sua lubrificação. Não é viável para um operador a colocação de óleo no depósito de dez em dez minutos. Então, desenvolveu-se um depósito adicional de óleo que, através de uma torneira com regulação, faz encher o depósito principal. Esse depósito pode ser observado na figura 74. A torneira regula o débito de óleo para que seja possível aproximar do consumo do depósito inicial. De modo a prever qualquer falha, criou-se um tubo de escoamento com a altura idêntica à do topo do depósito inicial. Qualquer débito superior de óleo, este pode ser escoado através do tubo, prevenindo assim, que a ferramenta fique alagada. Entre os dois depósitos, colocou-se uma electroválvula, para impedir o débito de óleo mal a ferramenta fique parada. De outra maneira, o óleo iria ser expelido, desnecessariamente, através do tubo de escoamento. Ao colocar a ferramenta em funcionamento, a electroválvula é acionada, permitindo o débito de óleo.



Figura 74 – Depósito de óleo adicional e electroválvula.

7.6. Punções de corte das figuras dimensionados incorretamente

Com o desgaste da ferramenta, ao longo da produção, começaram a aparecer umas rebarbas na zona redonda das garras. Essa rebarba deriva de uma folga excessiva entre o punção e a matriz. Na zona de corte, ao haver uma folga superior à folga estipulada (0,025 mm por lado), cria-se uma rebarba por consequência de um arrancamento de material. Existe folga suficiente para a passagem de material, logo irá originar uma rebarba (figura 75). Este defeito faz com que, não só a peça não tenha as dimensões pretendidas, como depois haja problema na montagem da mesma em máquinas automáticas. A garra apresenta uma rebarba de 0,2 mm, o que é bastante considerável, para impedir qualquer movimento numa máquina automática.



Figura 75 - Rebarba na face superior da garra.

Após se desarmar a ferramenta, verificou-se que os punções correspondentes ao corte da garra tinham uma face formada na tangente do semicírculo. Inicialmente, estes punções foram idealizados com a figura nas extremidades dos mesmos mas, depois de algum desgaste entre o deslizar dos punções na placa guia, originou-se a face presente na figura 76. Esta face é a causa da rebarba presente nas peças pois existe falta de material no punção, o que causa a rebarba presente na face superior da garra.

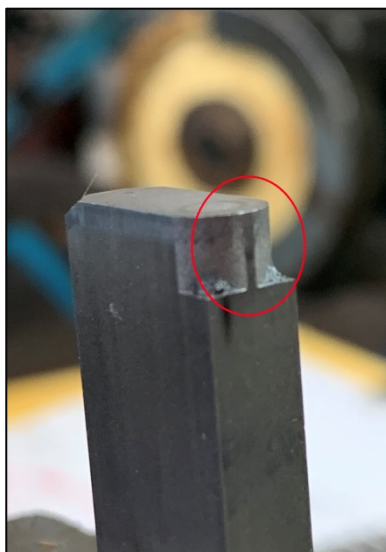


Figura 76 - Defeito no punção que origina a rebarba.

Para se contornar este erro, foram maquinados novos punções mas, desta vez, utilizando uma distância de 0,3 mm entre a extremidade da figura da garra e a face do mesmo. Esta distância aplicada, permite que não haja desgaste não uniforme na figura do punção, reduzindo assim qualquer hipótese de originar rebarba. Para que estes novos punções (figura 77) pudessem ser aplicados na ferramenta, foi necessário uma maquinação do excedente na placa guia e porta punções. Para essa alteração, utilizou-se a eletroerosão por penetração, pois esse equipamento encontra-se presente na oficina da JSL – Material Elétrico. Da mesma maneira que se adicionou 0,3 mm de material nos punções, esses mesmos 0,3 mm foram retirados nos componentes acima mencionados. Conclui-se que, depois da montagem do equipamento, a rebarba desapareceu por completo. Esta alteração encontra-se finalizada, permitindo assim passar para a análise da qualidade da rosca.

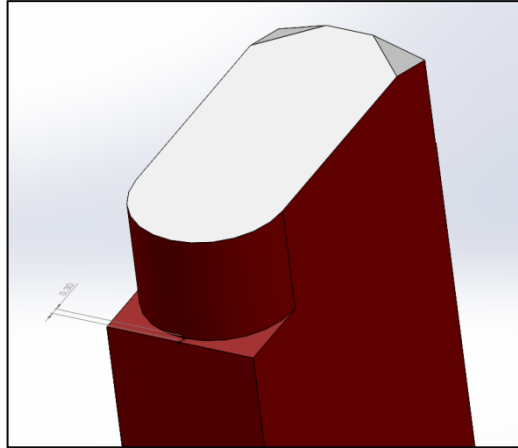


Figura 77 – Punção com alteração de geometria.

7.7. Punções das figuras esmagam a rosca existente

Depois de garantir uma correta formação das roscas, verificou-se que algumas roscas tinham um defeito na sua entrada. Um macho, após a formação da rosca, deixa pequenas rebarbas que, por vezes, excedem a espessura da banda. Nessa altura, o punção que irá fazer o corte da figura, esmaga essa mesma rebarba para o interior do furo. Comparando com o processo antigo, verifica-se que existe uma extrema importância em solucionar este problema. Através da figura 78, pode-se observar que as diferenças na sequência de operações irão influenciar totalmente a qualidade da rosca. Através do processo antigo, qualquer rebarba gerada pelo macho, já não irá ser danificada pois a roscagem é a última etapa do processo. Em relação ao processo novo, o mesmo já não se pode dizer. Qualquer rosca maquinada arriscava-se a ser esmagada pelo punção de corte da garra.

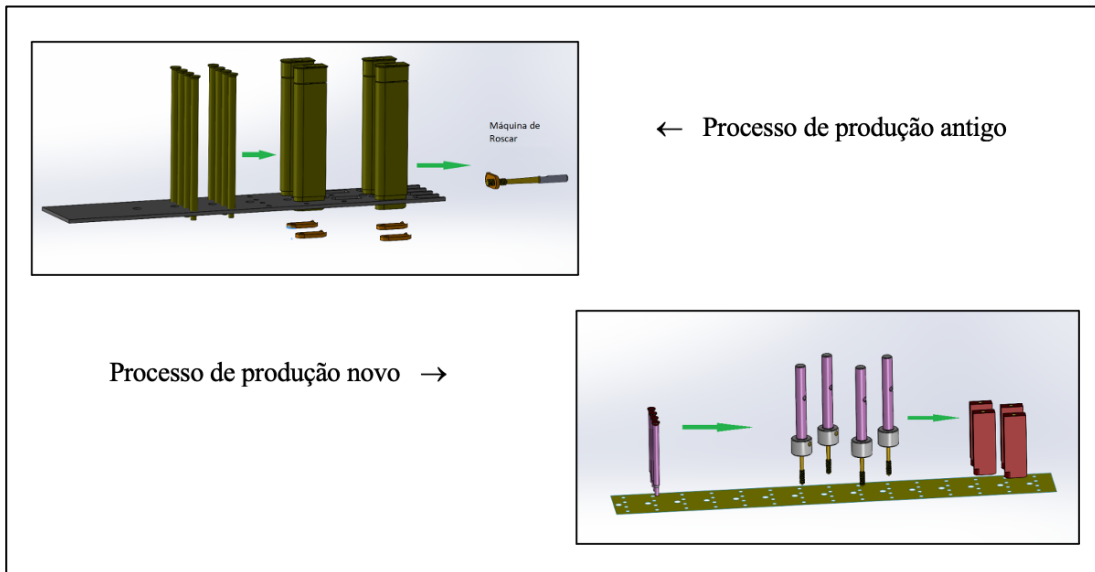


Figura 78 – Diferenças entre o processo antigo e o processo novo de produção.

De forma a salvar a rosca, decidiu-se maquinar os punções utilizando a eletroerosão por penetração. Foram erodidas umas caixas com o diâmetro superior ao diâmetro da rosca, para garantir que, ao cortar a peça, qualquer rebarba de formação da rosca se preserve. Essa alteração pode ser visualizada na figura 79. Centrado com o furo onde se insere a rosca, maquinaram-se as caixas com 3,5 mm de diâmetro e uma profundidade de 0,3 mm que é o suficiente para salvar qualquer imperfeição colocada na rosca da peça.



Figura 79 – Punção com rebaixo na zona da rosca.

8. Análise de custos e benefícios

Para este projeto, foi feita uma análise detalhada aos custos e benefícios entre o processo anterior e o processo implementado, separando-se em dois tipos:

1. Análise do custo de produção
2. Análise do tempo de produção

De entre os dois tipos de análise, a maior importância dá-se na redução de tempo de produção que este processo beneficiou. Contudo, não se pode deixar de contabilizar o custo que também foi reduzido. De um processo para o outro, reduziu-se em todos os aspetos associados à roscagem independente em máquinas de roscar e também numa lavagem. Irá ser considerada uma produção de 1000 unidades e, no final, uma produção mensal, de modo a analisar qual o ganho ao fim de um mês de produção.

8.1. Análise do custo de produção

Para analisar qualquer alteração ao tempo dos dois processos, é necessário realizar uma análise dos estágios em separado. Iniciando com o valor de mão-de-obra, este considera-se 1200 € ilíquidos, o que perfaz 6,82 € por hora. No caso da matéria-prima, o custo por tonelada ronda os 1000 €. Como o passo da ferramenta é 20 milímetros, sabe-se que, para produzir 4 garras será necessário esse comprimento. O volume é calculado através do comprimento e da área de secção transversal:

$$V_{4 \text{ garras}} = 20 * 37,5 * 1,8 = 1350 \text{ mm}^3 \quad \text{Eq. 6}$$

$$V_{1000 \text{ garras}} = \frac{1000 * 1350}{4} = 337500 \text{ mm}^3 = 0,000337500 \text{ m}^3 \quad \text{Eq. 7}$$

Sabendo que a densidade deste aço é 7860 kg/m^3 , então a quantidade de matéria-prima necessária para a produção de 1000 garras é 2,66 kg. Assim, o custo da matéria-prima para produzir o número de garras em questão é 2,66 €. Em relação ao custo elétrico,

considera-se o valor do kWh de 0,33 €. A tabela 11 apresenta todos os custos elétricos por hora.

Tabela 13 - Custo da energia elétrica por hora nos equipamentos.

	Potência	Custo / hora
Prensa	4 kWh	1,32 €
Máquina lavar	1,25 kWh	0,41 €
Máquina secar	1,25 kWh	0,41 €
Máquina roscar	1,25 kWh	0,41 €

Considerando que a prensa realiza 6000 garras em 25 minutos, então para uma produção de 1000 unidades, necessita de 4,2 minutos. A prensa é um equipamento comum ao processo antigo e ao processo novo, logo não será comparada nos custos de equipamento. Cada primeira lavagem demora 7 minutos e cada segunda lavagem demora 12 minutos. Conta-se também com o líquido desengordurante que custa 95,25 € e é vendido em latas de 25 litros. Para uma lavagem de 1000 garras, utiliza-se cerca de 0,2 litros do produto. No caso da máquina de roscar, a mesma produz cerca de 15 000 unidades em 9 horas de trabalho (contando que durante a hora de almoço fica a trabalhar), o que equivale a 36 minutos para cada 1000 garras. Não se consideram os custos deste equipamento, pois é uma máquina usada que se encontra totalmente amortizada. Em relação aos machos, o tempo médio de vida é de 10 dias de trabalho, ou seja, 150 000 roscas. O seu custo unitário são 49,60 €.

Como houve um investimento numa ferramenta de corte progressivo nova, esse valor tem de ser contabilizado sob forma de custo no processo. Calcula-se, então, o custo que será adaptado para 5 minutos de utilização, para realização de 1000 peças.

$$C_{eq} = \frac{IC}{60*N*H} * (1 + R_{OH}) \quad \text{Eq. 8}$$

C_{eq} – custo do equipamento (€/min)

IC – custo inicial da ferramenta (em euros)

N – tempo estimado de serviço (em anos)

H – tempo de operação anual (em horas)

R_{OH} – taxa de aplicação de sobrecarga ao equipamento (em %)

Como abordado anteriormente, a ferramenta contém diversos componentes como punções, matrizes, engrenagens e sensores (entre outros). A aquisição de todos os componentes de compra, matérias-primas e maquinação da ferramenta, teve um custo de 7000 euros. Conta-se com um tempo estimado de serviço à volta de 20 anos e uma operação anual suficiente para produzir 1500000 unidades mensais. O valor estimado para a produção da ferramenta (20 anos), indica o tempo de amortização do equipamento, diluindo assim, em frações pequenas ao longo do seu trabalho. O tempo de operação anual será 1375 horas/ano. Existe também a aplicação de uma taxa de sobrecarga ao equipamento, que se considera 0 %. Este valor (R_{OH}) representa a incerteza associada aos cálculos em questão. Dado o conhecimento do histórico destes equipamentos e da energia consumida pela prensa ter sido calculada à parte, considera-se o valor da incerteza 0 %. Assim, o custo do equipamento a cada minuto de produção é:

$$C_{eq} = \frac{7000}{60 * 20 * 1375} * (1 + 0) = 0,00424 \text{ €/minuto}$$

Os custos totais em cada estágio e o custo total de cada processo irão ser referenciados individualmente. No caso da tabela 12, esta encontra-se associada apenas à estampagem utilizando a ferramenta antiga. Em questão considera-se o valor da eletricidade consumido pela máquina, valor da mão de obra e da matéria prima necessária.

Tabela 14 – Custos corte/estampagem da ferramenta antiga por 1000 unidades.

Estampagem com ferramenta antiga	Custo €/1000un
Eletricidade máquina	0,11 €
Mão de obra	0,57 €
Matéria prima	2,66 €
Total	3,34 €

Na tabela 13, estão contemplados os custos da primeira lavagem do processo antigo.

Tabela 15 - Custos da 1ª lavagem por 1000 unidades.

1ª Lavagem	Custo €/1000un
Lavagem manual	0,00 €
Máquina secar (5 minutos)	0,03 €
Líquido de lavagem	0,76 €
Mão de obra (7 minutos)	0,80 €
Total	1,59 €

A tabela 14 apresenta o custo associado à roscagem das garras de pladur, em que os custos associados são o custo da energia para colocação da máquina a trabalhar, mão de obra e o consumo médio de machos. Ainda na mão de obra considera-se, pelo conhecimento do funcionamento do processo, que o operador dispõe cerca de 1/3 do tempo do processo de roscagem a dar assistência ao equipamento devido a peças encravadas ou a verificar a qualidade de roscas em peças retirados ao acaso para controlo.

Tabela 16 - Custo da roscagem por 1000 unidades.

Roscagem	Custo €/1000un
Máquina roscar (36 minutos)	0,37 €
Mão de obra (1/3 do tempo)	2,04 €
Machos	0,50 €
Total	2,91 €

No caso da tabela 15, esta aborda os custos associados à segunda lavagem do processo de produção anterior. Os valores diferem porque a primeira lavagem, não só utiliza mais equipamentos do que a segunda, mas também é um processo mais rápido, o que tem um menor custo.

Tabela 17 - Custos da 2ª lavagem por 1000 unidades.

2ª Lavagem	Custo €/1000un
Máquina lavar (7 minutos)	0,05 €
Máquina secar (5 minutos)	0,03 €
Líquido de lavagem	0,76 €
Mão de obra (12 minutos)	1,36 €
Total	2,21 €

Por fim, na tabela 16, encontram-se apresentados os valores relacionados com a nova ferramenta de corte progressivo. A diferença de valores deve-se ao facto de terem sido adicionados machos de roscar à ferramenta.

Tabela 18 – Custos de estampagem da ferramenta nova por 1000 unidades.

Estampagem com ferramenta nova	Custo €/1000un
Eletricidade máquina (5 minutos)	0,11 €
Mão de obra (5 minutos)	0,57 €
Matéria prima	2,66 €
Machos	0,50 €
Total	3,84 €

Após todos os cálculos dos custos inerentes a ambos os processos, na tabela 17, realizou-se um balanço entre o processo antigo e o processo novo. Conclui-se que o novo processo é bastante mais rentável porque apenas utiliza uma lavagem e, no caso da roscagem, não é necessário a utilização da máquina de roscar. Assim, pode-se assegurar uma poupança mensal arredondada de 2640 euros.

Tabela 19 - Balanço dos custos de ambos os processos.

Análise custos por 1000 unidades		Antigo	Novo
No.	Estágio	Custo/ 1000 un	Custo/ 1000 un
1	Estampagem	3,34 €	3,84 €
2	Lavagem	1,59 €	x
3	Roscagem	2,91 €	x
4	Lavagem	2,21 €	2,21 €
Total (1000 unidades)		10,04 €	6,04 €
Total mensal (660 000 unidades)		6 629,15 €	3 989,26 €

8.2. Análise do tempo de produção

Apesar de ser importante realizar uma análise aos custos de produção, o principal objetivo deste projeto foi aumentar significativamente a cadência na produção de garras de pladur. A tabela 18 apresenta a comparação relativamente à capacidade de produção entre o processo anterior e o processo novo. Esses valores são conhecidos e falados na análise de custos. Dados estes valores, entende-se que o estágio que atrasava todo o processo antigo era

a roscagem, pois acrescenta ao processo cerca de 69 % do tempo de produção. Este estágio foi absorvido pela nova ferramenta de estampagem que utiliza a mesma cadência de produção da ferramenta de corte progressivo inicial. Conclui-se que a diferença do processo novo face ao anterior, é de uma produção cerca de 3,8 vezes superior. A produção mensal rondava as 660 000 unidades e, após a conclusão deste projeto, permite atingir uma produção de 2 534 400 unidades. Para cada produção de 1000 unidades, poupou-se 61 minutos do processo, num total de 78 minutos.

Tabela 20 – Análise do tempo de produção.

Análise tempo produção		Antigo	Novo
No.	Estágio	Tempo/1000un	Tempo/1000un
1	Estampagem	5 minutos	5 minutos
2	Lavagem	7 minutos	x
3	Roscagem	54 minutos	x
4	Lavagem	12 minutos	12 minutos
Total		78 minutos	17 minutos

9. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e analisar uma ferramenta de corte progressivo capaz de produzir roscas integralmente, com base numa só operação. Pode-se concluir que a colocação da caixa de engrenagens com cabeças de roscar em concordância com a ferramenta de corte foi capaz de produzir garras de pladur com uma rosca semelhante à rosca desenvolvida numa máquina de roscar. A fiabilidade do processo aumentou pois, na máquina de roscar anteriormente utilizada, havia diversas ocorrências de garras que passavam pela zona de roscar e não adquiriam rosca. Neste sistema, ao roscar a peça diretamente na chapa metálica, esses erros foram eliminados. O acompanhamento do processo por parte do operador também se reduziu bastante. Numa máquina de roscar, a quantidade de garras que ficavam encravadas era bastante. O movimento das garras é feito através de painéis vibratórias que, ao mínimo defeito do componente, este encrava, impossibilitando a continuação do processo. Seria sempre necessária a ação de um operador para a colocação do equipamento em correto funcionamento.

Para que este novo processo apresentasse uma maior estabilidade, concluiu-se que havia uma necessidade de colocação de um depósito de óleo adicional. Assim, permite ao operador a realização de outras tarefas em simultâneo entre cada lote de produção. Se o depósito principal não contiver óleo suficiente para a lubrificação dos machos, a rosca sairá defeituosa e fará com que a sua vida útil reduza substancialmente. Num caso extremo, leva à fratura do macho. A utilização de sensores foi também fundamental para prevenir, não só que os machos se danifiquem, mas também que não se produzisse lotes defeituosos. Em vez de se rejeitar algum lote, os sensores detetam alguma anomalia e, instantaneamente, dão sinal à máquina para parar.

Em relação às melhorias realizadas ao longo do projeto, estas derivaram de erros de conceção ou problemas que não estavam previstos. A sua retificação foi feita, estudando um caso de cada vez. Após a conclusão destas melhorias, conseguiu-se realizar lotes de produtos conformes (6 000 unidades por lote), tendo a ferramenta estabilizada. Pode-se afirmar que, com esta nova ferramenta, a capacidade de produção é 3,8 vezes maior relativamente ao processo anterior. Não só é uma produção mais rápida, como o operador fica disponível para a realização de outros trabalhos em paralelo. Apesar do fator tempo ser o aspeto mais importante a concretizar, a avaliação dos custos deste novo processo é fundamental para a viabilidade do projeto. Apesar de haver um custo mais elevado na estampagem com a nova

ferramenta devido ao investimento no equipamento, este processo faz com que deixe de se utilizar dois processos, sendo um deles uma das lavagens e o outro a roscagem. Pode-se concluir que, relativamente aos custos do processo anterior para o novo, houve uma redução de cerca de 40 %. Assim, pode-se afirmar que o projeto se encontra concluído, tendo atingido os objetivos pressupostos no início do trabalho.

9.1. Propostas de trabalho futuro

Com o objetivo de realizar uma melhoria contínua no processo, um fator importante a considerar é um estudo aos materiais a utilizar nos componentes. Poderá haver outros materiais para punções, matrizes ou outros componentes de desgaste, que permitam a realização de uma maior produção, sem que seja necessária a sua manutenção ou mesmo substituição. O mesmo estudo pode-se aplicar aos machos utilizados nesta ferramenta. Pode haver alguma empresa a comercializar machos idênticos mas que tenham outro tipo de revestimento, o que aumentará a sua capacidade de produção.

Outro aspeto importante é a maquinação de componentes para substituição. É necessário um levantamento de todos os componentes de desgaste como punções, matrizes, machos, rolamentos e guias, para que haja um conjunto em stock, garantindo um menor tempo de reparação da ferramenta.

Pode também ser equacionado o aumento da velocidade da máquina, para uma maior produção. O equipamento foi estudado para trabalhar na velocidade mais baixa da prensa (60 upm) e, ao ser aumentada, pode atingir as 240 upm. É necessário um estudo à resistência dos componentes da ferramenta para perceber se existe algum benefício em aumentar a velocidade da prensa. Se não houver aquecimentos provenientes do aumento de temperatura ou outros fatores relevantes para a diminuição da vida útil do equipamento, então conseguir-se-ia obter uma velocidade de produção cerca de 4 vezes superior.

Referências Bibliográficas

- [1] Ivana Suchy, 2005, “Handbook of Die Design”, McGraw Hill Handbooks, Segunda Edição.
- [2] Fissha Biruke Teshome and Yonas Mitiku Degu, Fevereiro 2014, “Design of Combined Press Tool for the Manufacturing of Rice Thresher Blade”, The International Journal Of Engineering And Science, Volume 3.
- [3] Vukota Boljanovic, 2006, “Die design fundamentals”, Industrial Press New York, Terceira Edição.
- [4] Vukota Boljanovic, 2004, “Sheet Metal Forming Processes and die design”, Industrial Press New York.
- [5] Sheldon Lee Semiatin, Elizabeth Marquard, Heather Lamp, 2006, “Metal Working Sheet Forming”, ASM Handbook, Volume 14B.
- [6] Society of Manufacturing Engineers, 1994, “Progressive Dies Principles and Practices of Design and Construction”, Segunda Edição.
- [7] Wilhelm Klingenberg, Udai Pratap Singh, 2003, “Finite simulation of the punching/blanking process using in-process characterization of mild steel”, Journal Of Materials Processing Technology, Volume 134.
- [8] Kishore Kumar, Rajendra Singh, 2011, “An automated design system for progressive die”, Expert Systems with Applications, Volume 38.
- [9] Arpit Arora, Arpit Pathal, Akshat Juneja, Pankaj Shakkarwal, Rajender Kumar, 2021, “Design & analysis of progressive die using SOLIDWORKS”, Materials Today Proceedings, Volume 51.
- [10] Padma Rao, Manzoor Hadi, 2021, “Modelling, Analysis and Development of Progressive Die for Seat Rail”, Web of Conferences, Volume 309.
- [11] Skampardonis Nikolaos, Tsirkas Sotirios, Grammatikopoulos Spyridon, 2021, “Design and analysis of an industrial, progressive die for cutting and forming”, Universidade de Peloponnese.
- [12] International Electrotechnical Commission, 2001, “Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)”.
- [13] Punções piloto. D-TECH Profile Grinding, 2023. Disponível em: <http://d-techprofilegrinding.com/pilot-punches-3/>. Acesso em: 20/Setembro/2023.