



**Daniel Alexandre
dos Santos
Bernardo** **Estudo do processo de
retificação de matrizes redondas
na empresa Metalúrgica Lurga**

Trabalho de Projeto submetido como requisito
parcial para obtenção do grau de **Mestrado em
engenharia de produção**

Orientador: Professor José Filipe Castanheira
Pereira Antunes Simões

Novembro 2022

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin

Agradecimentos

Queria desde já agradecer ao Instituto Politécnico de Setúbal, Escola Superior de Tecnologia e docentes pelos conhecimentos adquiridos ao longo destes últimos anos.

Quero também agradecer aos meus orientadores do projeto, o professor José Simões e o engenheiro André Costa e também ao engenheiro Manuel Roriz, que me ajudaram e auxiliaram ao longo desta etapa muito desafiante do curso e da minha vida e que sem eles a elaboração deste objetivo na minha vida não tinha sido possível.

Não podia deixar de agradecer à minha família, em particular à Inês Lopes e aos meus pais que me ajudaram muito nesta fase da minha vida, dando motivação, força e energias positivas e sem eles não seria possível.

Por fim gostaria de agradecer à empresa onde trabalho, Metalúrgica Lurga, que me deu a oportunidade de utilizar todos os recursos, para que este projeto andasse para a frente, e que num futuro próximo o mesmo seja implementado na organização com vista ao desenvolvimento de uma estratégia de melhoria contínua, o meu muito obrigado.

Resumo

O presente projeto visa o estudo da sequência de operações no processo de retificação no fabrico das matrizes redondas. Através da análise de todo o processo foi possível encontrar soluções para alguns dos problemas existentes que não estavam detalhados e por isso foi necessário estudá-los e analisá-los com vista a num futuro próximo reduzir os custos e tempos de produção e melhorar assim a produtividade da Metalúrgica Lurga. Para tal, foi utilizado o *software Organimold*, que permitiu obter os tempos de ciclo de fabrico tecnológicos baseado em anterioridades, e em paralelo foram conduzidas consultas aos operadores, o que permitiu detetar os problemas existentes neste processo de retificação. Após toda esta análise verificou-se que seria mais eficiente a alteração de parte dos processos de retificação para a eletroerosão a fio e fez-se uma análise aos dois processos, tanto ao nível de tempos e custos como ao nível dimensional e das rugosidades de superfície, concluindo-se que o processo de eletroerosão a fio, apesar de ser um processo mais moroso, acaba por ser um processo barato e autónomo, pois não necessita de um operador a tempo inteiro. Também se conclui que ao nível dimensional e do acabamento superficial, os processos asseguram os requisitos de projeto das matrizes redondas.

Palavras-chave: Processos; Tempos ciclo; Retificação; Matrizes; Eletroerosão a fio.

Abstract

This project aims to study the sequence of operations in the grinding process in the manufacture of round dies. Through the analysis of the entire process, it was possible to find solutions to some of the existing problems, that were not detailed and therefore it was necessary to study and analyze them with a view to improving costs and production times in the near future and thus improving productivity from Metalúrgica Lurga. For this, the Organimold software was used, which made it possible to obtain the cycle technological manufacturing times based on prior art, and in parallel consultations were carried out with the operators, which made it possible to detect the existing problems in this rectification process. After all this analysis, it was verified that it would be more efficient to change part of the grinding processes to wire electrical discharge machining and an analysis was made of both processes, both in terms of time and costs, as well as in terms of dimensions and surface roughness, concluding that the wire electrical discharge machining process, despite being a more time-consuming process, turns out to be a cheap and autonomous process, as it does not require a full-time operator. It is also concluded that in terms of dimensions and surface finish, the processes ensure the project requirements of round dies.

Keywords: Process; Cycle time; Grinding; Dies; Wire electrical discharge machining

Índice

Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Índice.....	vii
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas	xii
Lista de Siglas e Acrónimos	xiii
Capítulo 1.....	1
Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do projeto	2
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Organização do documento	2
Capítulo 2.....	4
Caracterização do produto.....	4
2.1. Processo de compressão.....	5
2.2. Máquinas de compressão	5
<i>2.2.1. Funcionamento das máquinas de compressão</i>	<i>6</i>
2.3. – Ferramentas de compressão	9
Capítulo 3.....	11
Descrição do processo de fabrico.....	11
3.1. Organização Metalúrgica Larga.....	12
3.2. Enquadramento do <i>layout</i> da fábrica	14
3.3. Processo de fabrico das matrizes	15
3.4. Tempos tecnológicos de produção.....	17
<i>3.4.1. Software Organimold.....</i>	<i>17</i>
<i>3.4.2. Tabela tempos tecnológicos.....</i>	<i>18</i>
Capítulo 4.....	22
Identificação de problemas, apresentação de soluções e escolha da solução	22
4.1. Problemas identificados no processo de fabrico das matrizes e a possível resolução.....	23
<i>4.1.1. Torno.....</i>	<i>23</i>

4.1.2. Retificação	23
4.1.3. Retificar diâmetro exterior	24
4.1.4. Retificação para Centrar furo	25
4.1.5. Retificação dos furos – Honing	25
4.1.6. Retificar das saídas.....	27
4.1.7. Fluxo do processo.....	28
4.1.8. Procedimentos operações.....	28
4.1.9. Movimentações	29
4.1.10. Qualidade do produto final.....	29
4.2. Escolha da solução.....	30
Capítulo 5.....	32
Implementação e fundamentos.....	32
5.1. Implementação	33
5.1.1. Layout do novo processo de fabrico	34
5.1.2. Processo de eletroerosão a fio.....	34
5.1.3. Chanfro matrizes.....	40
5.1.4. Escoamento abrasivo – Extrudehone	42
5.1.5. Torno.....	45
5.2. Retificação vs eletroerosão a fio	45
5.3. Fundamentos teóricos.....	46
5.3.1. Retificação e honing	46
5.3.2. Eletroerosão a fio e escoamento abrasivo.....	48
5.3.3. Conclusões e requisitos a atingir	51
Capítulo 6.....	53
Testes e análise de resultados	53
6.1. Testes.....	54
6.2. Análise de resultados	54
6.2.1. Análise de tempos tecnológicos	55
6.2.2. Análise do lead time.....	56
6.2.3. Análise dos custos de produção.....	58
6.2.4. Medição de rugosidade.....	61
6.2.5. Controlo dimensional	62
Capítulo 7.....	64
Conclusões e desenvolvimentos futuros	64

7.1. Conclusão.....	65
7.2. Desenvolvimentos futuros	66
Referências bibliográficas.....	68
Anexo 1	1
Fases do processo de compressão	1
Anexo 2	5
Desenho das matrizes - Retificação	5
Anexo 3	6
Processo de fabrico Retificação.....	6
Anexo 4	28
Desenho das matrizes – Eletroerosão a fio	28

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Fases do processo de compressão.....	5
Figura 2.2– máquina de compressão excêntrica à esquerda [11] e máquina de compressão rotativa à direita [12]	6
Figura 2.3 - Diferentes tipos de geometrias [13].....	6
Figura 2.4 – Punções e matrizes de geometrias variadas à esquerda [22] e ferramentas de compressão à direita.....	7
Figura 2.5 - Ferramentas de compressão [14].....	7
Figura 2.6 - Representação do ciclo de compressão, (Maquina rotativa). [14]	8
Figura 2.7 - Ciclo de compressão [14]	9
Figura 2.8 - Punção Tipo “D” e Tipo “B”	10
Figura 2.9 - Matrizes tipo “D”, tipo “B” e tipo “BB”	10
Figura 3.1 - Instalações da Metalúrgica Metalúrgica Lurga	12
Figura 3.2 - Ferramentas de compressão, esquerda punções e direita matrizes [22]	12
Figura 3.3 - Cálculo estrutural de uma ferramenta de compressão através <i>software</i> Inventor	13
Figura 3.4– Alimentador forçado de uma máquina de compressão [22].....	13
Figura 3.5 – Manutenção e restauração de máquinas de compressão [22].....	13
Figura 3.6 – <i>Layout</i> por processo do fabrico matrizes.....	15
Figura 3.7 - Processo de fabrico matrizes	15
Figura 3.8 – Descrição das operações e tempos no <i>Organimold</i>	18
Figura 4.1 – Matrizes Tipo D, Tipo B e Tipo BB	23
Figura 4.2 - Desenho de Retificação das matrizes	24
Figura 4.3 - Régua da máquina <i>Centerless</i> retificar diâmetros exteriores	24
Figura 4.4 - Aperto e ferramenta da Centrar furos PAM.....	25
Figura 4.5 - Matriz tipo D rejeitada.....	25
Figura 4.6 - Lista de mandris	26
Figura 4.7 - Aperto da matriz e ferramenta posicionada.....	26
Figura 4.8 - Lado esquerdo aperto da matriz e ferramenta, lado direito o engenho manual	27
Figura 4.9 - Fluxo de processo de fabrico de matrizes.....	28
Figura 4.10 - Alguns caminhos e entraves na area de retificação.....	29
Figura 4.11 - Desenho final da matriz	30
Figura 5.1 – Diagrama do processo de eletroerosão a fio.....	33
Figura 5.2 – <i>Layout</i> do processo de eletroerosão a fio.....	34
Figura 5.3 – Processo de eletroerosão de fio	35
Figura 5.4 - Bobina de fio do processo de eletroerosão de fio	35
Figura 5.5 – Alinhamento e centramento da placa de apertos	35
Figura 5.6 – Perfil Redondo e caminho de corte do material do furo da matriz	36

Figura 5.7 – Subprograma com a linguagem Fanuc.....	36
Figura 5.8 – Montagem das matrizes na placa de aperto.....	37
Figura 5.9 – Retirada do desperdício com íman da mesa da máquina	37
Figura 5.10 – Matriz de ensaio depois de acabada	38
Figura 5.11 – Comparador para medir a concentricidade do furo da matriz	38
Figura 5.12 – Calibre passa não passa da matriz	38
Figura 5.13 – Oxidação das matrizes após processo de eletroerosão de fio.....	39
Figura 5.14 – Calibre passa não passa e acabamento da matriz após escoamento abrasivo	39
Figura 5.15 – Programa de finalização de 7 matrizes	40
Figura 5.16 – Máquina de chanfrar saídas das matrizes.....	41
Figura 5.17 - Retificação da mó a 45°.....	41
Figura 5.18 - Matrizes oleadas para evitar processo de corrosão.....	41
Figura 5.19 - Matriz pronta a cortar calibrada para o tipo de matriz	42
Figura 5.20 - Processo de Extrusão - Extrudhone	43
Figura 5.21 – Montagem da base e das matrizes na base.....	43
Figura 5.22 – Processo de extrusão das matrizes.....	44
Figura 5.23 – Matrizes após processo de extrusão	44
Figura 5.24 – Escovilhão para limpeza do furo da matriz após extrusão	44
Figura 5.25 - Desenho da matriz de torno através do processo de eletroerosão a fio.....	45
Figura 5.26 – Gráfico dos diferentes tipos de processos e rugosidades [30].....	47
Figura 5.27 – Equipamento da experiência e a estrutura do cabeçote de honing [31]	48
Figura 5.28 - Resultados da rugosidade de superfície após processo extrusão [33].....	49
Figura 5.29 - Variação da superfície de rugosidade aumentando a pressão [34]	50
Figura 5.30 - Efeito da concentração percentual de abrasivos na mudança na rugosidade da superfície [34]	51
Figura 6.1 - Gráfico do processo de retificação VS eletroerosão a fio	56
Figura 6.2 – Gráfico do tempo em horas do lead time por processo.....	57
Figura 6.3 - Gráfico da relação em percentagem do tempo do lead time por processo ..	58
Figura 6.4- Gráfico de comparação de custos.....	60
Figura 6.5 - Gráfico da medição de rugosidade nas 8 matrizes de amostra	61
Figura 7.1 - As fases do processo de compressão.....	1
Figura 7.2 - Misturadora com recipiente móvel [5] e com recipiente fixo [6]	2
Figura 7.3 - Máquina granulação a seco (esquerda) [7] e máquina granulação via húmida (direita) [8].....	3
Figura 7.4– Máquina de compressão Kilian S250 Smart [9].....	4
Figura 7.5 – máquina de revestimento [10]	4

Lista de Tabelas

Tabela 3-1 - Sequência de maquinagem e do processo de retificação.....	17
Tabela 3-2 – Tabela dos tempos tecnológicos das matrizes na retificação	20
Tabela 4-1 - Sequência de maquinagem e do processo de eletroerosão a fio	31
Tabela 5-1 - Comparação dos processo retificação vs eletroerosão a fio.....	46
Tabela 5-2 - Rugosidade de superfície em diferentes tipos de processos [30].....	46
Tabela 5-4 - Rugosidade superficial obtida [32]	48
Tabela 5-5 - Rugosidades medidas antes do processo de extrusão [33].....	49
Tabela 6-1 - Tabela dos tempos tecnológicos eletroerosão a fio.	54
Tabela 6-2 - Tabela de tempos de retificação VS eletroerosão a fio.....	55
Tabela 6-3 – Tabela do <i>lead time</i> apenas do processo retificação e eletroerosão a fio ..	57
Tabela 6-4 – Tabela dos custos de produção no processo de retificação por matriz	59
Tabela 6-5 – Tabela dos custos de produção no processo de eletroerosão a fio por matriz	59
Tabela 6-6 – Tabela de comparação dos custos de produção por processo.....	60
Tabela 6-7 – Tabela de medição de rugosidades das matrizes	61
Tabela 6-8 – Tabela de controlo dimensional das matrizes de ambos os processos	62

Lista de Siglas e Acrónimos

API	<i>Active Pharmaceutical Ingredients</i> – Ingredientes farmacêuticos ativos
CBN	<i>Cubic Boron Nitride</i> – Nitreto cúbico de boro
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> – Planeamento de recursos empresariais
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> – Organização internacional para a padronização
SOP	<i>Standard Operation Procedure</i> – Procedimento operacional padrão
TSM	<i>Tabletting Specification Manual</i> – Manual de especificação de comprimidos
WEDM	<i>Wire Electrical Discharge Machining</i> – Maquinagem de eletroerosão a fio
WEDM	<i>Wire Electrical Discharge Machining</i> – Maquinagem de eletroerosão a fio

Lista de Símbolos

Ø Diâmetro [milímetros]

μ Micron

Capítulo 1

Introdução

O presente caso de estudo é um projeto de pesquisa académico, submetido como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestrado em Engenharia de Produção, lecionado na Escola Superior de Tecnologias de Setúbal do Instituto Politécnico de Setúbal.

A finalidade deste projeto visa uma melhoria na organização Metalúrgica Lurga, na análise dos processos de fabrico das matrizes redondas através da retificação. Para isso irá ser necessário estudar e analisar todos os processos de fabrico da matriz e verificar/ concluir qual o verdadeiro problema no processo ou quais os *bottleneck's* existentes. O objetivo é que no futuro a organização consiga, através dos métodos estudados, ser mais eficiente em termos de acabamento, tempo e custos.

Neste capítulo irá ser abordado inicialmente todo o enquadramento do projeto, seguido dos objetivos e por fim a organização do documento.

1.1. Enquadramento do projeto

A Metalúrgica Lurga é uma empresa da indústria metalomecânica, que produz ferramentas de compressão de precisão para a indústria farmacêutica, nutracêutica, química e alimentar.

Neste momento a empresa quer estudar a viabilidade dos processos de fabrico de uma matriz redonda na retificação, para isso, é necessário estudar este processo para perceber quais os problemas adjacentes.

No processo atual de produção das matrizes redondas, no processo de retificação, para a obtenção das matrizes, existe a necessidade de esta passar por 4 tecnologias, grande parte destas tecnologias já se encontram ultrapassadas e as mesmas requerem muitas horas de produção, um grande conhecimento por parte dos operadores, ou seja, máquinas difíceis de manusear, os acabamentos não são os melhores, não dando qualidade ao produto final e o processo não é standard nem sequencial, perdendo-se imenso tempo entre máquinas. Na produção das matrizes também foi verificado que o processo global destes componentes, o fluxo das operações não tem uma sequência lógica e procederemos a esta análise.

Neste trabalho é pretendido fazer o estudo de todo o processo de fabrico das matrizes redondas, estudar o processo de retificação, analisar o layout da fábrica, analisar as tecnologias utilizadas e as existentes, o fluxo, fazer um registo de todos os tempos reais de fabrico, verificar movimentações, ou seja, analisar todo o processo de fabrico.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo, como já foi abordado, o estudo do processo de retificação das matrizes redondas na empresa Metalúrgica Lurga. O objetivo é encontrar soluções e tentar perceber quais os problemas que são identificados neste processo e operações de forma a reduzir os tempos de produção e os custos de fabrico das matrizes, também, automatizar os processos e o fluxo de trabalho nas várias tecnologias existentes, sendo que este é um problema, que vem a arrastar-se durante alguns anos.

1.3. Organização do documento

O projeto inicia-se com a caracterização do produto, desde a caracterização das máquinas de compressão até ao produto em objeto de estudo – Matrizes Redondas. No terceiro capítulo apresenta-se primeiramente o *layout* do processo existente da retificação das matrizes redondas, de seguida toda a industrialização destes componentes e por fim uma análise aos tempos tecnológicos das mesmas. No quarto capítulo irá ser feita a análise e descrição dos problemas encontrados no processo de retificação, vão ser identificadas possíveis soluções para resolver em partes estes problemas e vai ser tomada uma decisão relativamente à escolha da solução,

seguida de um capítulo onde irá ser falado sobre a implementação do novo processo de fabrico e como o *layout* é alterado bem como as alterações de todo o processo e no fim do capítulo os fundamentos teóricos encontrados e existentes como termo de comparação. No capítulo 6 vão ser elaborados testes ao novo processo, bem como toda a análise aos tempos e custos associados, análise dimensional e de rugosidade superficial. Por fim, no último capítulo serão tiradas todas as conclusões e os desenvolvimentos futuros que possam dar continuidade ao trabalho em análise.

Capítulo 2

Caracterização do produto

Neste capítulo irá ser abordado o produto a desenvolver neste projeto, para isso vai ser necessário identificar e explicar o processo de compressão da indústria farmacêutica e quais as fases deste processo. Em seguida irá ser descrita a caracterização e abordagem das ferramentas de compressão e no final desta sequência, os componentes de estudo – Matrizes Redondas.

2.1. Processo de compressão

O processo de compressão, como o nome indica, é a compressão do granulado pó em comprimidos. Existem vários tipos de comprimidos, mas o processo de fabrico deles é muito idêntico e que faz com que o processo de compressão seja fundamental para a produção. A produção de comprimidos por compressão é atualmente a principal escolha das indústrias farmacêutica e nutracêutica [1,2,3,4]. Neste subcapítulo irão ser abordadas as várias fases de compressão, desde o granulado, misturadora, compressão e revestimento.

Este processo pode ser simples ou complexo consoante as necessidades do produto final. Pode haver a necessidade de uma granulação via húmida, ou seja, não existir uma compressão direta dos excipientes, ou até mesmo ser necessário o revestimento dos comprimidos como um requisito obrigatório. As fases do processo de compressão estão indicadas na figura x descritas no anexo 1.

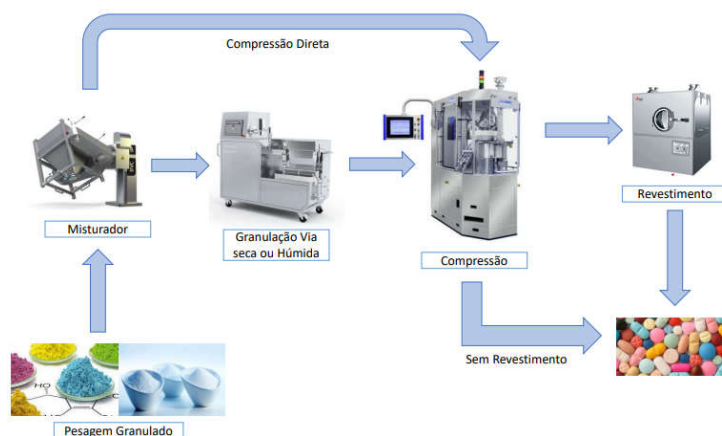


Figura 2.1 - Fases do processo de compressão

2.2. Máquinas de compressão

É na máquina de compressão que se elabora o processo que permite a obtenção de comprimidos através da compressão de pós. Esta é uma operação fundamental nas indústrias farmacêutica e nutracêutica. De uma forma mais teórica a compressão pode ser descrita como a aplicação de uma força mecânica às partículas existentes no interior da matriz de compressão, existindo assim a aproximação das partículas, o que permite a sua ligação, transformando-as num único sólido. Este é caracterizado por ter uma boa resistência ao impacto, mas que vai depender do número e do tipo de ligações estabelecidas entre as partículas [2,15,16].

Existem diversas máquinas de compressão e dividem-se em 2 tipos, as máquinas excêntricas (figura 2.2), que possuem apenas uma estação, constituída por um punção superior, um punção inferior e uma matriz, e as máquinas rotativas (ver figura 2.2), que possuem múltiplas estações e que podem ir de 6 a 55 estações, contendo também punções superiores e inferiores

e matrizes. A indústria farmacêutica opta pelas máquinas de compressão rotativas e de preferência com o máximo de estações possíveis, pois estas máquinas permitem a produção de milhares de comprimidos por minuto, o que torna o processo muito mais rentável e eficiente.



Figura 2.2– máquina de compressão excêntrica à esquerda [11] e máquina de compressão rotativa à direita [12]

2.2.1. Funcionamento das máquinas de compressão

As máquinas de compressão, servem para transformar os pós ou grânulos num espaço confinado que dão origem em comprimidos. São produzidas geometrias variadas (figura 2.3) nas indústrias farmacêutica e nutracêutica, consoante as especificações dos laboratórios. Existem comprimidos elípticos, oblongos, quadrados, redondos, entre outros. Para a produção destes comprimidos utilizam-se ferramentas de compressão específicas. Este trabalho irá focar-se nas ferramentas de compressão dos comprimidos redondos.



Figura 2.3 - Diferentes tipos de geometrias [13]

As máquinas de compressão são caracterizadas por trabalharem com as ferramentas de compressão. Estas ferramentas são compostas por punções superiores e inferiores e por matrizes (ver figura 2.4 lado esquerdo), sendo que o seu funcionamento é igual. A figura 2.10 lado direito mostra como os punções trabalham e são posicionados.

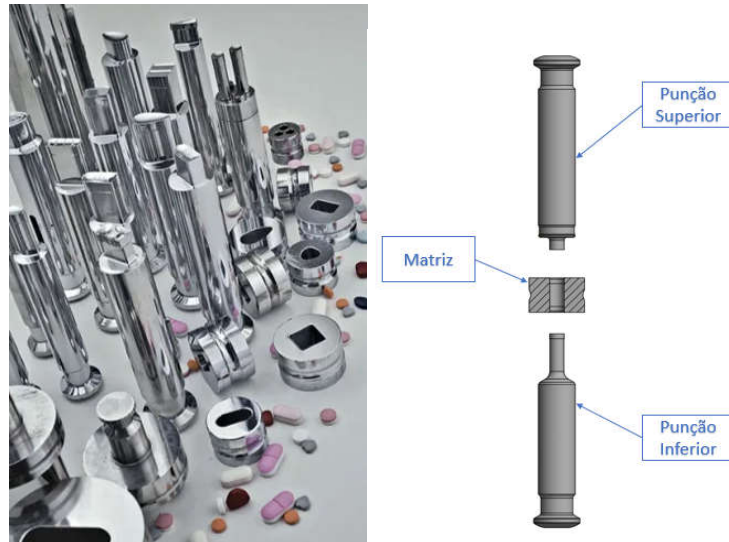


Figura 2.4 – Punções e matrizes de geometrias variadas à esquerda [22] e ferramentas de compressão à direita

A função dos punções é a compressão das matérias-primas e direcioná-las para o furo das matrizes. Para que isto funcione, os punções são instalados paralelamente numa torreta, onde se encontram para a compressão direta, formando assim os comprimidos. As matrizes são instaladas entre os punções onde estão fixas, é depositado a matéria-prima, onde depois é feita a compressão (figura 2.5).

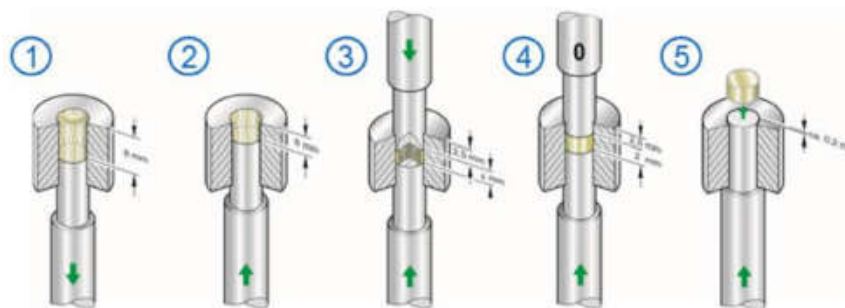


Figura 2.5 - Ferramentas de compressão [14]

Como podemos ver na figura 2.5, quando se deposita a matéria prima, esta é direcionada para a cavidade da matriz, onde o punção inferior já está posicionado, isto vai determinar o volume do comprimido. Inicia-se o processo de compressão, em que ambos os punções se encontram para compactar a matéria prima e assim formar o comprimido. Uma vez que o comprimido já está formado, o punção superior recua e o inferior empurra o comprimido para fora da matriz que é enviado para a saída da máquina.

Este movimento é feito ao longo de todas as estações num movimento contínuo e de grande rotação. Na figura 2.6, é possível verificar este movimento. Explicando em mais detalhe todo o processo, o enchimento do granulado nas cavidades da matriz é feito pelo alimentador de pó. O pó distribui-se gravitacionalmente para o prato das matrizes onde é depositado numa grande área, pela régua de enchimento por forma que as matrizes se encham com o doseamento correto

de pó. Após o enchimento da matriz, o punção inferior sobe para ajustar o volume pretendido. Após o ajuste da quantidade de pó, o excesso sai para um canal de recirculação e que vai para o alimentador para depois ser novamente utilizado. O processo de compressão começa quando o punção superior e inferior passam pela roda de pré-compressão aplicando uma força de compressão. Esta pré-compressão faz com que exista uma primeira compressão do pó e auxilia na remoção do ar do interior da matriz. O punção superior entra na matriz enquanto que o punção inferior sobe ligeiramente dentro da matriz, ocorrendo a pré-compressão. De seguida, o punção superior e inferior passam pela roda de compressão, (é definida a espessura e a dureza final do comprimido) aplicando uma força maior à força exercida na pré-compressão, formando assim o comprimido. Depois da compressão o punção superior vai para a came de elevação onde sobe e sai da matriz, enquanto que o punção inferior passa pela came de injeção onde sobe, fazendo sair o comprimido do interior da matriz. De seguida, o comprimido é direcionado para a saída da máquina descendo pela calha de escoamento para o recipiente onde se faz a recolha dos comprimidos. Depois disto, o ciclo de compressão é repetido continuamente através das várias estações que são posicionadas e guiadas num movimento circular. Quanto maior o número de estações, maior a produtividade da máquina [17,18,19].

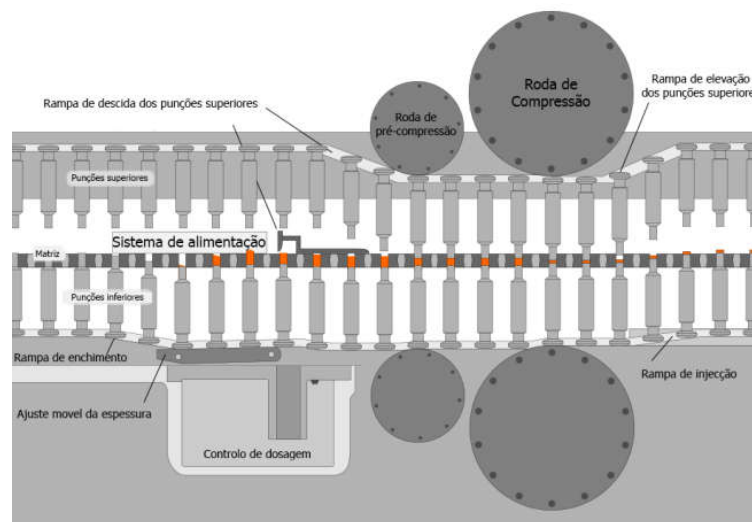


Figura 2.6 - Representação do ciclo de compressão, (Maquina rotativa). [14]

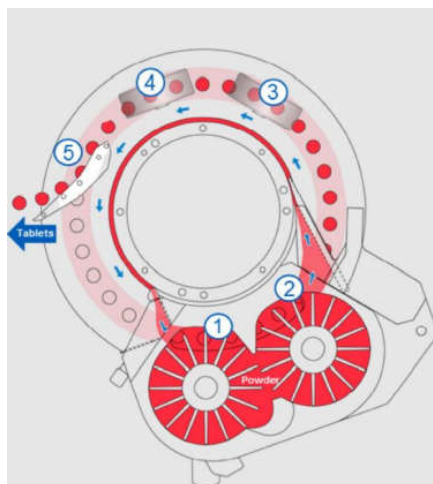


Figura 2.7 - Ciclo de compressão [14]

Na figura 2.7 podemos ver o ciclo de compressão de uma outra perspectiva. De salientar que o ponto 1 do alimentador serve para alimentar o sistema, enquanto que o ponto 2 serve para aferir o sistema, obtendo o volume necessário para o fabrico do comprimido.

2.3. – Ferramentas de compressão

Existem vários tipos de ferramentas de compressão. Grande parte destas ferramentas estão normalizadas e regem-se pela Norma ISO - *International Organization for Standardization* 18084:2011 e pela especificação TSM – *Tabletting Specification Manual*. A norma ISO 18084:2011 é para ferramentas de compressão para comprimidos – punções e matrizes, onde especifica as principais dimensões, tolerâncias e características dos punções superiores e inferiores e das matrizes para todos os tipos de comprimidos. Trata de medidas que são relevantes entre os punções e as diferentes máquinas de compressão de vários fabricantes, enquanto que a especificação TSM tem todas as informações disponíveis das ferramentas de compressão desde, o design da ferramenta, as tolerâncias, o design do comprimido, o material da ferramenta, as forças de compressão, entre outras informações. [20,21]

As ferramentas mais utilizadas são as de Tipo B e Tipo D (ver figura 2.8). Estas ferramentas, como todas as outras, podem ter variadas geometrias e obedecem a uma norma que se designa por ISO 18084:2011. O que vai determinar a escolha de um punção, vai depender do produto que se quer produzir, se é corrosivo, abrasivo, plástico, elástico, aderente e também quais as máquinas que temos ao nosso dispor. Assim, depois de definir estas variáveis pode-se escolher o tipo de punção que se deve utilizar.

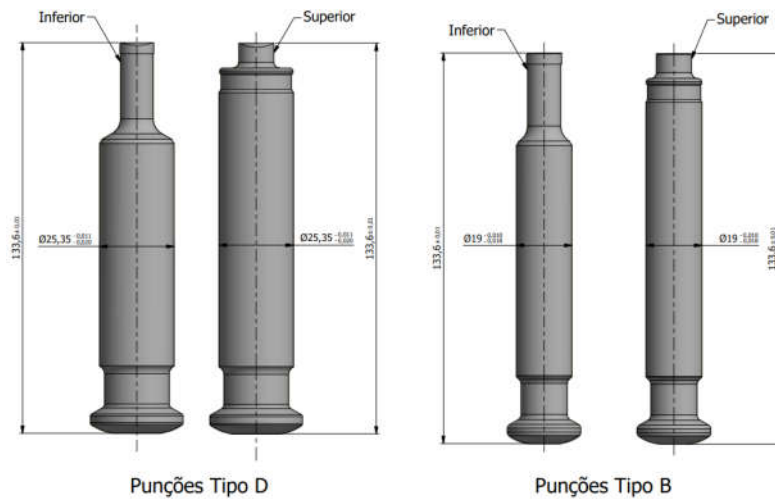


Figura 2.8 - Punção Tipo “D” e Tipo “B”

Cada conjunto de ferramentas de compressão trabalha, como já tinha sido falado anteriormente, com uma matriz que também obedece à mesma norma. As matrizes vão ser o objeto de estudo deste trabalho. As matrizes Tipo “D” trabalham com os punções tipo “D”, enquanto que as matrizes tipo “B” e tipo “BB” trabalham com os punções tipo “B”. O facto de existirem 2 tipos de matrizes para o tipo “B” está relacionado com o número de estações que a máquina tem, quanto maior o número de estações mais pequena é a matriz. Na figura 2.9 podemos ver as matrizes por tipo.

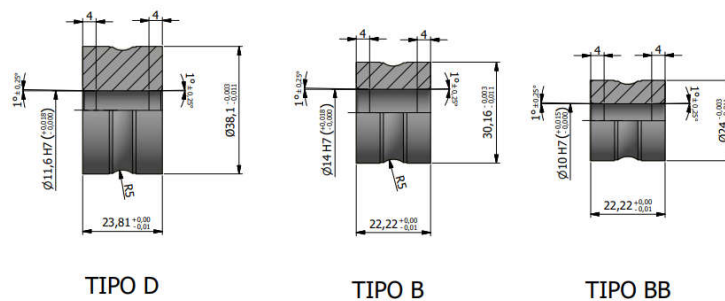


Figura 2.9 - Matrizes tipo “D”, tipo “B” e tipo “BB”

Capítulo 3

Descrição do processo de fabrico

Neste capítulo irá ser feita uma abordagem sobre a empresa Metalúrgica Lurga, a sua posição no mercado e o que produz, todo o enquadramento do *layout* da fábrica com as operações de fabrico das matrizes no processo de retificação, a explicação de todo o processo de fabrico das matrizes e por fim a coleta dos tempos tecnológicos das matrizes no *software Organimold*.

3.1. Organização Metalúrgica Lurga

A metalúrgica Metalúrgica Lurga (figura 3.1) é uma empresa de metalomecânica com 54 anos de existência, sediada em Portugal na Bobadela, e dedica-se à investigação, conceção, fabrico, comercialização e assistência pós-venda de máquinas e ferramentas de compressão (figura 3.2), destinadas, essencialmente, à produção da indústria farmacêutica, nutracêutica e alimentar [22].



Figura 3.1 - Instalações da Metalúrgica Metalúrgica Lurga

A empresa maioritariamente produz ferramentas (figura 3.2) para máquinas de compressão e desenvolve estas ferramentas e o design dos comprimidos, verificando assim todo o cálculo estrutural, pesos, definição de geometrias, densidades, revestimento, gravações, etc. (figura 3.3). Este desenvolvimento e design e concepção das ferramentas é feito e projetado no *software* AutoDESK Inventor.



Figura 3.2 - Ferramentas de compressão, esquerda punções e direita matrizes [22]

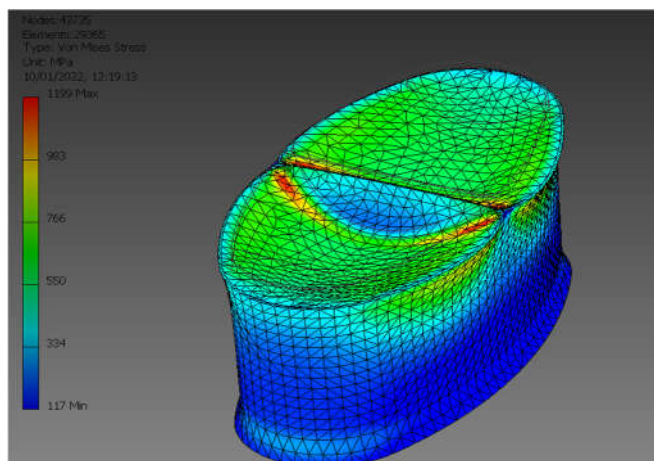


Figura 3.3 - Cálculo estrutural de uma ferramenta de compressão através *software* Inventor

A Metalúrgica Lurga fabrica qualquer peça das máquinas de compressão (figura 3.4), faz reparações a máquinas e equipamentos dos clientes, faz todo o serviço de engenharia de manutenção e assistências técnicas de acordo com a necessidade dos clientes e restaura máquinas de compressão em desuso (figura 3.5), melhorando assim a sua tecnologia e capacidade de produção e de ponta (figura 3.5).



Figura 3.4– Alimentador forçado de uma máquina de compressão [22]



Figura 3.5 – Manutenção e restauração de máquinas de compressão [22]

A organização trabalha com inúmeros clientes dentro e fora do país diariamente, oferecendo assim soluções de compressão com alta fiabilidade e flexibilidade [22].

3.2. Enquadramento do *layout* da fábrica

O *layout* de uma fábrica, pode ser definido com a ordem das máquinas e o equipamento no seu conjunto, dentro do espaço fabril ou de um setor, neste caso irá ser abordado o espaço físico para a produção das matrizes e todo o fluxo de processo.

O *layout* pode ser a solução para uma produção eficiente, desde que se contabilizem todos os centros de trabalho, as pessoas, os serviços, os produtos, as informações e a tecnologia e que estes se integrem num todo [24].

Todos os processos de produção têm perdas que podem ser reduzidas e melhoradas com a otimização do próprio *layout*. O estudo de todo o *layout* da fábrica é muito importante, assim como as tecnologias que o integram. Dentro destes recursos estão todas as máquinas, utilidades, áreas de armazenamento de matérias-primas e centros de trabalho [27].

A organização e disposição dos recursos da produção no espaço físico da organização afeta diretamente os custos da produtividade e da sua produção [24]. Estes projetos têm um grande impacto na performance da organização e que afeta os seus resultados diários, sendo até essenciais para a sobrevivência da organização [25].

Portanto, tudo isto influencia a competitividade e desempenho da empresa. Esta é uma ferramenta indispensável para o sucesso da empresa e para a excelência dos seus produtos, porque permite a eliminação de falhas e ordena todo o processo de fabrico numa sequência correta.

Todo o planeamento do *layout* de uma fábrica é de grande importância, porque se o *layout* não estiver otimizado, vai originar processos demorados, fluxos não previsíveis, operações inflexíveis, filas e perdas nos tempos de operações [28]. Todos estes conceitos dos *layouts* estão interligados, porque o *layout* da fábrica é de certa forma a imagem do tipo de processo em que a organização labora.

Existem vários tipos de processos:

- **Processo de fabrico em lotes** – A organização define, seja via encomenda ou por tipo de produto, a dimensão do lote a produzir;
- **Processo de fabrico contínuo** – Linha de produção contínua, que fabrica os mesmos produtos repetitivamente, com uma reduzida variedade de produtos e uma taxa de produção elevada;
- **Processo de fabrico discreta** – Este processo de fabrico é semelhante ao anterior, no entanto executa processos diversificados, com variação da configuração na oficina e uma maior frequência na mudança do *layout*;
- **Processo de fabrico oficial** – Produz-se uma grande variedade de produtos, contudo em pequenas quantidades. O *layout* é disposto por secções, ou seja, são divididos por tipo de máquinas.

No caso da Metalúrgica Lurga, o *layout* está disposto segundo a figura 3.6 onde se pode verificar todas as operações e todo o fluxo de processo de fabrico das matrizes de forma sequencial. O tipo de processo que a organização Metalúrgica Lurga utiliza é o processo de fabrico por lotes porque a empresa trabalha mediante encomendas feitas pelos clientes. O principal foco da empresa Metalúrgica Lurga são o fabrico das ferramentas de compressão, mas todas elas são diferentes.

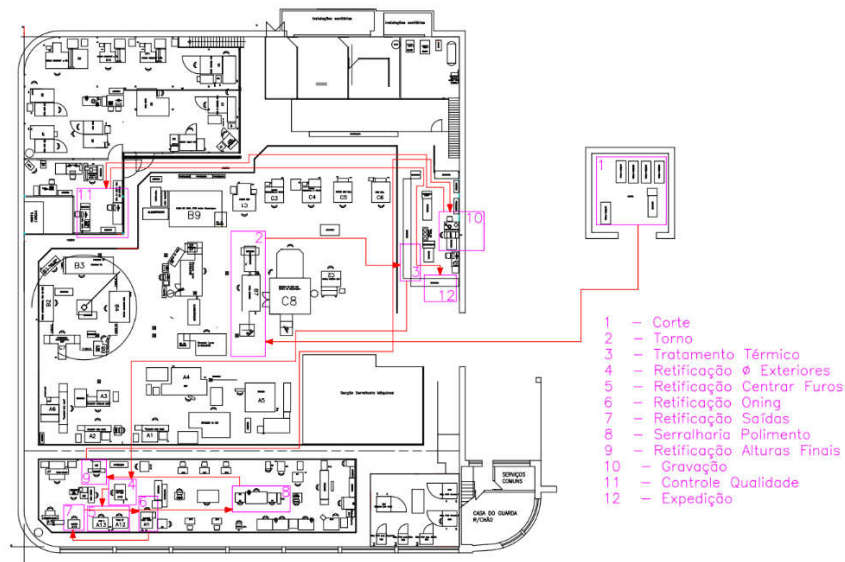


Figura 3.6 – *Layout* por processo do fabrico matrizes

A figura 3.7 mostra de uma forma mais simples e direta um diagrama com o fluxo do processo das matrizes e de seguida irá ser analisado todo o processo sequencial de fabrico de uma matriz, desde o corte até á expedição. De referir que o corte de toda a matéria-prima se encontra em *stock*, portanto todos os tempos que serão associados são da gestão deste *stock* e não do corte.

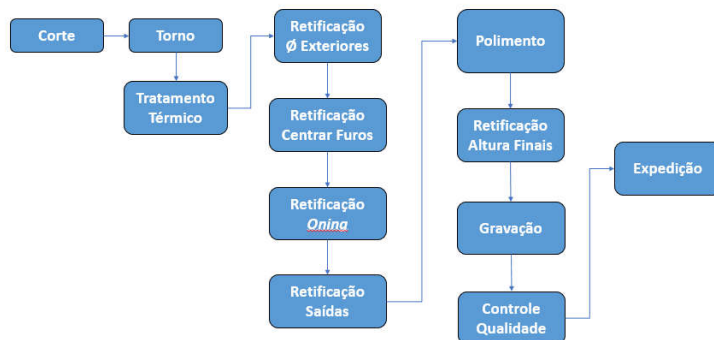


Figura 3.7 - Processo de fabrico matrizes

3.3. Processo de fabrico das matrizes

O fabrico das matrizes é composto por uma série de processos tecnológicos, garantindo sempre condições e especificações do produto final (de acordo com os desenhos entregues pela engenharia de projeto/processo):

- 1) Corte da matéria-prima;
- 2) Torneamento;
- 3) Tratamento térmico;

- 4) Retificação dos diâmetros exteriores;
- 5) Retificação para centrar furos;
- 6) Retificação do diâmetro final dos furos – Oning;
- 7) Retificação das saídas;
- 8) Serralharia - polimento;
- 9) Retificação das alturas finais;
- 10) Gravação das matrizes;
- 11) Controle qualidade;
- 12) Embalamento e expedição.

É de realçar que para iniciar qualquer trabalho no chão de fábrica, a produção, tem de ter em seu poder todos os desenhos das matrizes (anexo 2) e o projeto associado, bem como todas as operações definidas no *software Organimold*. Toda a documentação é entregue pela engenharia de projeto ao planeamento, que depois de executa toda a programação do trabalho, gestão de stock e de materiais. Posteriormente o processo é enviado para a produção onde inicia o fabrico das matrizes, onde são definidas todas as máquinas e recursos humanos e posteriormente operação a operação, faz-se a imputação dos tempos de setup e ciclo no *software Organimold*.

Existem processos e tecnologias mais atualizados e automáticos que outros. Mesmo assim, existe a necessidade de estudar os vários processos por forma a perceber quais as melhorias ou quais os *bottleneck's* encontrados no processo de fabrico. De salientar que todas as imagens e informações dos processos de fabrico foram recolhidos junto dos supervisores e operadores de fabrico e os tempos de *setup* que forem descritos foram recolhidos durante 2 semanas. Estes processos estão descritos no anexo 3 onde podem ser vistos com mais detalhe.

Em suma, na tabela 3.1 pode-se verificar toda a sequência de maquinagem e do processo de retificação que foi falada anteriormente. A sequência das operações de maquinagem é:

1. Torneamento da matriz – exterior e furo
2. Retificação diâmetros exteriores
3. Retificação de centrar furo e concentricidade
4. Retificação/ *honing* furo
5. Retificação saídas
6. Retificação alturas finais

Tabela 3-1 - Sequência de maquinagem e do processo de retificação

Sequência de maquinagem e do processo de retificação		
Operação	Máquina	Descrição
Gestão de Stock	Gestão stock	Faz a gestão do stock no <i>software Organimold</i>
Tornear	Daewoo Puma	Faz o torneamento da matriz do exterior e do furo com excesso para retificação
Tratamento térmico	Fornecedor	Expedição para tratamento térmico
Rectificar Ø exterior da matriz	Palmary 12S CC	Rectifica o diâmetro exterior
Centrar Furo	PAM 1/ PAM 2	Efetua o centro da matriz e a concentricidade
Honing Furo	Sunnen	Honing do furo para a cota final
Rectificar Saldas	Jagura	Retificar as saldas inferiores e superiores
Polimento manual geral	Rolo + polidora manual	Polimento do furo e do exterior da matriz
Rectificar alturas finais	Chevalier FSG1632AD	Retifica a matriz para as alturas finais
Gravar	Gravação a laser	Efetua a gravação a laser na matriz
Medir e controlar	Controlo Qualidade	Controlo dimensional da matriz

De seguida irão ser analisados todos os tempos tecnológicos por operação e o software utilizado na organização para registar todos estes tempos.

3.4. Tempos tecnológicos de produção

O estudo dos tempos tecnológicos ou tempos de ciclo de uma organização é uma técnica de medida das operações, que é indispensável a qualquer sistema de gestão da produção. Todos estes registos são importantes para permitir à empresa responder a situações decisivas, permitindo assim desenvolver os vários indicadores de desempenho da empresa. Dentro destes indicadores estão: prazos previstos de entrega, orçamentação, custos de transformação do produto, a capacidade de produção, falhas na produção, *bottleneck* no processo de fabrico, margens de lucro, entre outros. Para efetuar este estudo é necessário o registo de todos os tempos por processo para um determinado produto. Esse registo é feito através do planeamento de recursos empresariais (ERP). Este é um tipo de sistema de gestão que ajuda as empresas a gerir e automatizar todos os processos com vista a um desempenho eficiente, suportando-se na utilização de um *software* que permite a recolha de todos os dados necessários, interligando todos os departamentos da organização.

A empresa Metalúrgica Lurga utiliza como sistema ERP, o *software Organimold*, que vai ser descrito seguidamente:

3.4.1. Software Organimold

O *software Organimold*, como já foi referido é um *software* ERP, especialmente desenvolvido para a gestão da produção e permite fazer um planeamento global e por secção.

Segundo o site do *software*, este permite saber de antemão o volume de trabalho de cada secção em função da capacidade disponível, a criação de gráficos de planeamento interno, a análise detalhada de todos os custos e desvios, através das não conformidades e alterações no sistema de produção, a elaboração de orçamentos baseados em anterioridades, evitar horas extras desnecessárias, entre outros [23].

Este *software* é uma ferramenta de organização, que todos os funcionários da empresa Metalúrgica Lurga alimentam ao longo do dia, ou seja, carregam todos os tempos mediante o processo que estão envolvidos ou a tarefa que estão a fazer. Este registo tem de ser feito com disciplina e rigor. Esses dados, após registados, são facilmente transferidos do sistema. De seguida irá ser explicado como foram transferidos os tempos de ciclo do *software* para mais tarde servir de objeto de estudo.

3.4.2. Tabela tempos tecnológicos

A tabela 3.1 foi construída com a necessidade de verificar quais os tempos de fabrico de uma matriz através do processo de retificação, de forma que no futuro possamos mais facilmente ter uma base de estudo para o trabalho.

Esta tabela foi criada baseada em anterioridades, ou seja, em tempos tecnológicos imputados pelo fabrico no *software Organimold*, que são basicamente tempos medidos, ou seja, dados estatísticos de tempos reais capturados em horas de várias operações e de várias obras, consoante o tipo de matriz (tipo BB, B ou D – abordado no final do capítulo anterior) de acordo com todas as operações de fabrico. Foi tido em conta também todas as operações de cada processo/ tecnologia associadas para a obtenção do produto final. Através do *Organimold* foi necessário transferir um relatório por obra, onde discrimina todos os operadores e as horas imputadas a cada uma das operações (figura 3.8). O exemplo seguinte mostra o local onde essas horas foram retiradas do sistema por obra.

Ordem	Seqção	Operação	D.Operação	Descrição	T.Prev.	Classificação	Dependencia	Lista Máquinas	T.Real contab.	Máquina	Operador	Qr. Peças	Qr. Peças Max
43	OS	PL_RL_056	Monte de Bloco	Monte de Bloco	0,01	ONGC	(PROJECTO)-2	0	0	OS	OSPP	24	24
43	AT	AMT_SETUP	Setup de máquina	Setup de máquina (20 min. se mudar dim.)	0,2	ONGC		0,97	0,97	AMT_PUMA	92LAZARO	24	24
97	AT	AMT_TORL_MAT	Tornear Matizase	Tornear Matizase	0,17	ONGC		3,44	3,44	AMT_PUMA	78SAMUEL	24	24
123	X-TERRM	LOS_EXP_IT	Expedição TT (IT)	Expedição TT	96	ONGC		99,96	99,96	TT-THYSSEN	101PHNER	24	24
145	RECT	RECT_ORP_MAT	Rectificar O exterior da ...	Rectificar O exterior da matriz	0,17	ONGC		2,43	2,43	RECT_PALM_20X40	60MILARO	24	24
154	RECT	RECT_OT_PUR	Centrar Furo	Centrar Furo	0,26	ONGC		2	2	RECT_PALM_20X40	60MILARO	24	24
155	RECT	RECT_ON_PUR	Dringar Furo	Dringar Furo	0,13	ONGC		1,39	1,39	RECT_SUNNEN	T.10MARB	24	24
157	RECT	RECT_SMG2	Rectificar Saida	Rectificar Saida	0,12	ONGC		1,26	1,26	RECT_MASINA	60MILARO	24	24
201	SEPR	SEPR_VEF_02E	Verificação, calibragem ...	Verificação, calibragem e polimento	0,12	ONGC		2,76	2,76	SEPR_CABEC	140ANTONIO	24	24

Figura 3.8 – Descrição das operações e tempos no *Organimold*

Na criação da tabela foi necessário fazer a análise a todas as obras que contêm matrizes, com base em anterioridades/estatísticas que foram definidas consoante os tipos de matrizes existentes, se são tipo “BB”, tipo “B” ou tipo “D”, incluindo assim todas as operações para o fabrico de cada uma delas que é igual. Estas foram as variáveis a ter em consideração na construção da tabela de tempos tecnológicos. Os dados foram retirados do *software Organimold*,

onde foram selecionadas 36 obras, 12 por cada tipo de matriz para se conseguir obter uma amostra mais exata.

Considerando assim uma média para cada operação que se traduziu na criação de 3 tabelas distintas para cada tipo de matriz – Tipo BB/B e D, para concluir se cada uma delas teria um tempo de produção diferente, pois o que diferencia cada uma delas são os diâmetros exteriores.

Na elaboração da tabela foram quantificados todos os tempos de ciclo, ou seja, todos os tempos que a produção demorou para executar cada uma das operações. Nestes tempos estão incluídos os tempos de *setup* das máquinas e os tempos das movimentações e de espera não contam como tempo útil no processo, mas sim como *lead time*, que irá ser descrito no capítulo 6. De referir também que durante a recolha dos tempos de ciclo no software, verificou-se que existem muitas operações, onde os tempos não estão a ser imputados pelos operadores, dificultando assim a recolha dos dados. Por vezes foi necessário a inclusão de novas obras para um resultado mais exato.

No fim foram feitos os somatórios dos tempos reais de todas as operações, para se poder chegar ao total de horas necessárias para fabricar cada matriz tipo BB/B e D.

Na tabela seguinte, podemos ver a folha de cálculo dos tempos tecnológicos, anteriormente descrita:

Tabela 3-2 – Tabela dos tempos tecnológicos das matrizes na retificação

Tempos tecnológicos no processo de retificação das matrizes por unidade							
Ordem	secção	operação	D.Operação	Descrição	máquina	Matriz	
						Tempo Organimold	Tempo
30	GS	PLAN_GS	Gestão de Stock	Gestão de Stock	GS	0,01	00:00:36
57	AAT	AAT_TOR_MAT	Tornear Matrizes	Tornear Matrizes	AAT_PUMA	0,10	00:06:00
123	X-TTERM	LOG_EXP_TT	Expedição TT [TT]	Expedição TT	TT-RAMADA	----	----
145	RECT	RECT_CRP_MAT	Rectificar \varnothing exterior da matriz	Rectificar \varnothing exterior da matriz	RECT_PALMARY_CC	0,07	00:04:12
154	RECT	RECT_CT_FUR	Centrar Furo	Centrar Furo	RECT_PAM1	0,16	00:10:00
155	RECT	RECT_ON_FUR	Honing Furo	Honing Furo	RECT_SUNNEN	0,09	00:05:04
157	RECT	RECT_SAIDA	Rectificar Saida	Rectificar Saida	RECT_JAGURA	0,10	00:06:00
251,02	SERR	SERR_POL	Polimento manual geral	Polimento Final	SERR_ROLO2	0,10	00:06:00
252,1	RECT	RECT_ALT_F_MAT	Rectificar alturas finais	Rectificar Alturas Finais	RECT_FSG1632AD	0,05	00:03:00
289	LOG	LOG_GRAVAR	Gravar	Gravar	LOGLASER	0,03	00:01:48
293	CQ	CQ_MED_CON	Medir e controlar	Medir e controlar	CQ_MANUAL	0,03	00:01:48
Tempo total por matriz						0,74	00:44:28

Pela análise da tabela 3.2, pode-se assumir que os tempos tecnológicos de fabrico das matrizes não diferem entre elas, portanto podemos dizer que uma matriz tipo “BB”, “B” e “D” demoram cerca de 44 minutos e 29 segundos a fabricar. As matrizes têm tamanhos diferentes, mas o volume de corte é muito idêntico, pois os varões variam o seu diâmetro inicial, mas são proporcionais, o que faz com que a relação de corte seja a mesma. Pode-se dizer também que no processo de torno a velocidade é proporcional nos três tipos de matrizes.

Pode-se ainda referir que os tempos de *setup* estão incluídos nos tempos reais, ou seja, o operador quando imputa os tempos no *Organimold*, coloca os tempos totais, pois no *software* não dá para especificar e dividir os tempos de *setup* dos tempos dedicados á operação.

O tempo referido na tabela 3.2 é o tempo da gestão do stock, ou seja, o tempo de dar baixa no *software Organimold* do material que vai ser utilizado por obra pelo planeamento. Como falado anteriormente o corte da matéria-prima é feito antes de iniciar a obra.

Por fim, também se verifica que os tempos do tratamento térmico são inexistentes, isto porque estes tempos estão dependentes do subfornecedor e por isso decidiu-se não colocar, pois alteravam imenso o tempo de fabrico de uma matriz.

Mais à frente quando forem analisados todos os custos totais das matrizes irá ser tido em conta o custo desta operação assim como o custo da operação de corte.

Capítulo 4

Identificação de problemas, apresentação de soluções e escolha da solução

Neste capítulo irão ser abordados alguns dos problemas identificados e encontrados no processo de retificação e as possíveis soluções para os mesmos.

4.1. Problemas identificados no processo de fabrico das matrizes e a possível resolução

Foram analisados, na produção das matrizes, todos os processos de fabrico e foram identificados alguns problemas, problemas esses que estão a gerar *bottleneck's* no processo e que poderão ser melhorados e resolvidos com este trabalho.

De seguida irá ser descrito em detalhe todos os problemas identificados por processo e quais as soluções apresentadas para cada um dos problemas:

4.1.1. Torno

Na operação de torno são efetuados os diâmetros interiores e exteriores e alturas, na figura 4.1 podemos verificar alguns exemplos de matrizes Tipo BB, tipo B e tipo D com diâmetros interiores diferentes.

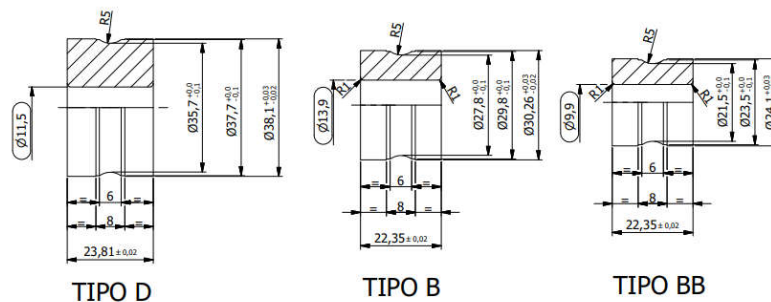


Figura 4.1 – Matrizes Tipo D, Tipo B e Tipo BB

O problema nesta operação prende-se com a demora no tempo de execução, devido à inúmera quantidade de diâmetros interiores. Ex.: $\varnothing 10,7$, $\varnothing 10,8$ e $\varnothing 10,9$. Para cada diâmetro interior é necessário alterar a ferramenta de corte e sempre que se faz esta alteração o operador demora cerca de 30min.

Solução para o problema:

Uma das soluções seria passar a fazer alguns dos processos de retificação na área da erosão por fio. Com esta alteração, na operação de tornear, era apenas necessário fazer um furo com um diâmetro sempre igual sem necessitar de alterar a broca e produzir stock de matrizes tipo BB, Tipo B e Tipo D. O furo interior seria posteriormente aberto no fio, já com saídas, restando apenas as operações de \varnothing exterior final e alturas finais para a retificação.

4.1.2. Retificação

Nas operações de retificação (retificar \varnothing exterior, retificar centrar furo, retificar Oning e retificar saídas) existe uma fila de espera muito grande devido a vários fatores, que irão ser descritos por

máquina. A figura 4.2 representa o desenho para a retificação de todas as operações executadas neste departamento, desde Retificar \varnothing interior, \varnothing exterior e as saídas.

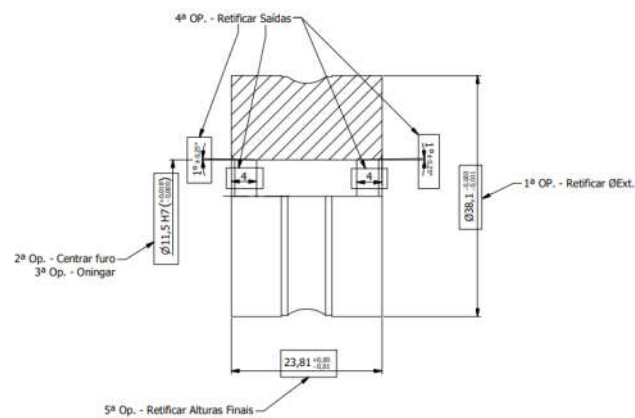


Figura 4.2 - Desenho de Retificação das matrizes

4.1.3. Retificar diâmetro exterior

A máquina Centerless retificar diâmetros exteriores, produz e executa o seu processo sequencial e automatizado e tem operadores qualificados a operar na máquina, mas o bottleneck desta máquina está no *setup*.



Figura 4.3 - Régua da máquina *Centerless* retificar diâmetros exteriores

Para cada tipo de matriz (B/BB/D), é necessário fazer o *setup* e alterar as régua da máquina (figura 4.3), o que demora cerca de uma hora a substituir, por isso, quando se retifica os \varnothing exteriores das matrizes, faz-se por lotes das existências em espera. Por exemplo, faz-se todas as matrizes tipo BB, depois as Matrizes tipo B, ou seja, todas as matrizes com o mesmo diâmetro. De salientar que a produção das matrizes é feita por tipo de matriz e não por prioridade, a não ser que seja uma urgência, o que faz com que o prazo de entrega raramente sirva para definir prioridades.

4.1.4. Retificação para Centrar furo

A máquina de centrar furos faz os diâmetros interiores da matriz, como já foi analisado no capítulo anterior. Um dos *bottleneck's* desta máquina prende-se por ser uma máquina que produz unidade a unidade, não é um processo sequencial, mas é um processo automatizado e tem operadores qualificados para manusear a máquina.

Cada vez que necessita de executar uma matriz, o operador tem de fazer o aperto da matriz, calibrar e depois executar, este aperto e a ferramenta estão representados na figura 4.5 e têm um tempo de setup de matriz para matriz de aproximadamente 24min. De salientar que o operador fica 100% dedicado a esta operação.



Figura 4.4 - Aperto e ferramenta da Centrar furos PAM

Outro problema nesta secção é que quando as matrizes são retificadas na *Centerless*, ou seja, quando o diâmetro exterior das matrizes são retificadas para a cota final, estas podem descentrar ainda mais o furo da matriz e por vezes não é suficiente para ganhar a folga que vem da operação de torno. Por outras palavras, a matriz depois de retificar o diâmetro exterior, esta, por vezes fica sem margem para alterar o diâmetro interior, levando a que tenham de ser rejeitadas (ver figura 4.5)



Figura 4.5 - Matriz tipo D rejeitada

4.1.5. Retificação dos furos – *Honing*

Na operação de retificar os furos - *Honing*, pode ser verificado que esta é uma tecnologia que não é sequencial, é um processo manual e requer operadores qualificados. Nesta operação a grande dificuldade é ser um trabalho sujo que ninguém quer fazer, ter um tempo de *setup* muito grande, a

rondar os 28min e também garantir que as tolerâncias estão corretas.

Como podemos ver na figura 4.6, cada mandril faz um intervalo de diâmetros interiores muito diverso, a mudança do mandril requer um tempo de *setup* de cerca de 55min. Para otimizar este processo, o operador junta, se possível, todas as matrizes que se encaixam para cada tipo de mandril e executa-as numa sequência que também não é por prioridades, mas sim por necessidade, fazendo também com que o prazo de entrega raramente seja para definir prioridades.

Order 1-5 For Complete AK20 or J-AK20 Honing Units

Diameter Range 18,90 mm - 26,19 mm .744" - 1.251"		1 AK/J-AK20 Mandrel* Includes Replacement Shim Set LR-1184	2 Truing Sleeve	3 Adapter	4 Alignment* Bushing	5 Honing Stone
mm	inches	Choose 1 Prefix	With stone retainer and wedge guide	For machines with fully adjustable spindle nose.		
18,90-19,68	.744-.775	AK JAK 20-744UA	S-744	AK20-A	C-713	
19,89-20,47	.775-.806	AK JAK 20-775UA	S-775	AK20-A	C-750	
20,47-21,29	.806-.838	AK JAK 20-806UB	S-806	AK20-A	C-812	
21,29-22,07	.838-.869	AK JAK 20-838UB	S-838	AK20-A	C-875	
22,07-22,86	.869-.900	AK JAK 20-869UB	S-869	AK20-A	C-937	
22,86-23,65	.900-.931	AK JAK 20-900UC	S-900	AK20-A	C-1000	
23,65-24,43	.931-.962	AK JAK 20-931UC	S-931	AK20-A	C-1062	
24,43-25,25	.962-.994	AK JAK 20-962UC	S-962	AK20-A	C-1125	
25,25-26,19	.994-1.031	AK JAK 20-994UC	S-994	AK20-A	C-1187	
25,15-26,97	.990-1.062	AK JAK 20-1000UD†	S-994	AK20-A	C-1250	
26,72-28,57	1.052-1.125	AK JAK 20-1062UD†	S-1062	AK20-A	—	
28,32-30,15	1.116-1.187	AK JAK 20-1125UE†	S-1125	AK20-A	—	
29,90-31,75	1.177-1.250	AK JAK 20-1187UE†	S-1187	AK20-A	—	

*Mandrel Options: AK = Standard shank, JAK = Extra long shank.
†Alignment Bushing: Select the bushing...

Figura 4.6 - Lista de mandris

Na figura 4.7 podemos verificar como é feito o aperto e o posicionamento da ferramenta e perceber que é um processo antiquado e pouco automatizado.



Figura 4.7 - Aperto da matriz e ferramenta posicionada

Neste processo existe ainda um outro problema que já foi falado anteriormente, que é quando as matrizes vêm do torno com o diâmetro quase na cota final, nestes casos o operador tem de fazer este processo manualmente, é um processo sujo e que o operador tem de executar com as suas próprias mãos.

4.1.6. Retificar das saídas

Nesta tecnologia, são efetuadas as saídas das matrizes, são produzidas uma a uma, não sendo um processo sequencial, é antiquada e não é automatizada, aqui também se verifica um *bottleneck*, devido ao tempo de *setup* da máquina, pois é necessário cerca de 33min cada vez que se muda de tipo de matriz ou de diâmetro interno.

Outro problema com que nos deparamos neste processo, é que não é um processo automático, ou seja, para a ferramenta cortar e fazer o efeito desejado, o operador tem de rodar o engenho manualmente, fazendo com que a ferramenta ande para a frente e para trás em movimentos contínuos (ver figura 4.8 do lado direito). Para além de ser um processo manual, também faz com que seja uma produção muito lenta, pois depende da rapidez do operador e da sua perícia. Este movimento não é ergonómico e pode causar lesões no operador ao nível de tendinites. O resultado final esperado das saídas nunca é igual pois não existe um processo automático.

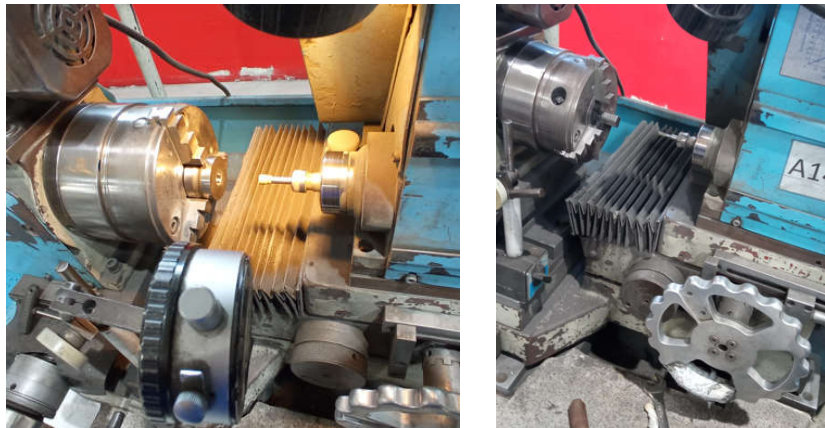


Figura 4.8 - Lado esquerdo aperto da matriz e ferramenta, lado direito o engenho manual

Em suma, nos vários processos de retificação existem *gaps* que precisam de ser corrigidos, desde a falta de operadores qualificados, máquinas pouco sequenciais e não automatizadas, tendo métodos muito arcaicos e morosos que fazem com que exista muitas vezes acumular de trabalho e imensas vezes matrizes em fila de espera. Nestes processos as matrizes quase nunca iniciam e finalizam a sequência de fabrico. Ficam sempre em fila de espera entre os vários processos de retificação o que faz ter um *lead time* muito grande. Também se verifica que nas saídas da matriz por ser um processo manual não existe uma standardização e o resultado final nunca é igual de matriz para matriz. Todos os tempos de *setup* acima indicados foram medidos numa amostragem de duas semanas no chão de fábrica.

Soluções para os problemas:

Uma das soluções passa por adquirir novas tecnologias para colmatar as lacunas existentes neste departamento. Investir em tecnologia de retificação mais recente, por forma a eliminar os *gaps* existentes.

Outra das soluções e que já foi falada é investir no processo de eletroerosão por fio, pode-se

constatar que esta solução vai melhorar este processo e outros, apesar de ser um processo mais lento, é um processo que não requer operadores dedicados, mas numa fase posterior estes detalhes irão ser analisados.

4.1.7. Fluxo do processo

O layout representado na figura 4.9 mostra o processo de fabrico das matrizes de retificação como já havia sido falado anteriormente.

Neste layout do fluxo de processo, podemos verificar que existem longos caminhos a percorrer de operação para operação e que existem também muitas sobreposições, o que o torna muito confuso. Da análise feita a este layout os fluxos que têm mais tempos associados é quando as matrizes se deslocam da logística (onde as matrizes são gravadas), para o controlo de qualidade e voltam novamente à logística para serem oleadas e embaladas. Estes movimentos são elaborados por um operador que transporta as matrizes através de um carrinho.

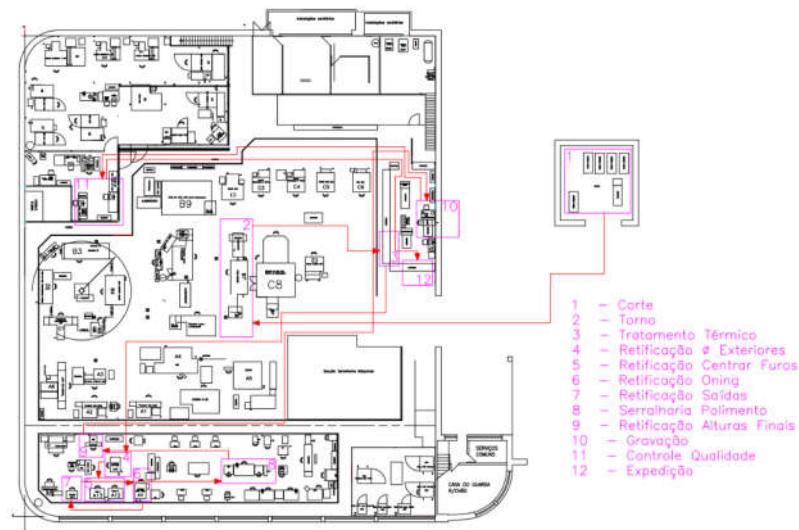


Figura 4.9 - Fluxo de processo de fabrico de matrizes

Soluções para o problema:

Uma das soluções que resolveria, em parte, este problema seria passar a máquina de gravação da Logística para o Controle de Qualidade, ou colocar o Controle de qualidade junto da Logística.

Esta alteração ia trazer uma melhoria significativa nos tempos de produção das matrizes.

4.1.8. Procedimentos operações

Foi detetado junto das máquinas a inexistência de procedimentos Standard das operações. Os novos operadores não têm um procedimento na máquina para seguir e realizar as operações, o que seria mais exequível e funcionaria um meio de integração aos novos colaboradores.

Soluções para o problema:

A solução para este problema passa por analisar todas as operações do processo de fabrico das matrizes e criar *SOP's* por máquina/operação, fazendo assim com que a chegada de novos operadores, ou alguma dúvida que tenham, seja facilmente identificada nestes procedimentos e posteriormente resolvida. Esta solução pode evitar paragens do operador e da máquina, para além de que ajuda no desenvolvimento do operador.

4.1.9. Movimentações

Não definição de movimentações entre estações de operações, ou seja, um caminho definido, havendo por vezes entraves que dificultam as passagens das matrizes para os vários setores (ver figura 4.10).



Figura 4.10 - Alguns caminhos e entraves na area de retificação

Soluções para o problema:

A solução passa por criar zonas de passagem que ficariam interditas a pessoas, que não sejam os operadores que trabalham nessas mesmas áreas e também delimitar esses caminhos de alguma forma.

Assim como devem ser criadas zonas onde podem apenas andar os visitantes e pessoas que não estão a influenciar e a trabalhar nas áreas que estão a produzir, por forma que consigam ver os processos e não intervir/ andar nos locais onde os operadores fazem as movimentações.

4.1.10. Qualidade do produto final

A qualidade do produto final não é satisfatória, fazendo muitas das vezes os processos a olho clínico:

- Saídas (ângulo e cota de 4mm);
- Tolerâncias difíceis de cumprir;

- Diâmetro interior da matriz;

Na figura 4.11 podemos analisar o desenho final da peça matriz, onde podemos ver todas as variáveis faladas anteriormente.

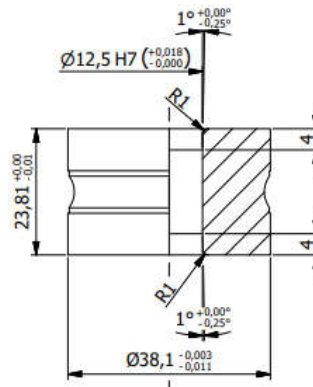


Figura 4.11 - Desenho final da matriz

Soluções para o problema:

Uma das soluções encontradas para melhorar a qualidade final do produto é fazer um controle dimensional de 10% às saídas da matriz, ou seja, o ângulo de 1° e a cota de 4mm na máquina de medição tridimensional, visto este controle não ser feito na retificação de saídas. Com este controle podemos verificar se as matrizes estão a sair conforme especificado no desenho. De salientar que as restantes medidas já são controladas através de micrômetro e passa não passa como foi analisado no capítulo anterior.

Outra solução será a obtenção de novas tecnologias de retificação ou a substituição de todo o processo na retificação pela eletroerosão a fio.

4.2. Escolha da solução

A empresa Metalúrgica Lurga já fabrica grande parte das suas matrizes no processo de eletroerosão a fio, estas matrizes são todas as matrizes de forma, ou seja, tudo o que não é redondo. A empresa decidiu que pode ser um passo importante, começar a produzir todas as matrizes neste setor, então a escolha da solução passa por fabricar as matrizes redondas no processo de eletroerosão a fio ao invés de ser no processo de retificação. Esta escolha também está relacionada com os seguintes fatores que a empresa alega:

- Redução da mão de obra;
- Maior fiabilidade do processo;
- Aumento produtividade;
- Redução de custos
- Melhor acabamento do produto;
- Automação do processo.

O processo é muito idêntico ao processo de retificação, ou seja, o processo é igual na maioria das operações na produção das matrizes, mas no lugar da operação de retificação centrar furos, honing e retificar saídas entra o processo de eletroerosão a fio que faz estes 3 processos em apenas uma operação. Por ir á eletroerosão o chanfro das matrizes também se faz numa fase posterior e não no processo de torno como era feito até agora. Também vai existir um novo processo, o processo de extrusão ou escoamento abrasivo que serve para remover a oxidação e a camada branca do furo da matriz, ou seja, a zona que foi trabalhada na eletroerosão a fio. Para além destas o processo de extrusão vai garantir que a matriz fica com o acabamento superficial desejado.

Para compreender melhor irá ser detalhada toda a sequência de maquinagem e do processo de eletroerosão a fio (tabela 4.1)

Tabela 4-1 - Sequência de maquinagem e do processo de eletroerosão a fio

Sequência de maquinagem e do processo de Eletroerosão a fio		
Operação	Máquina	Descrição
Gestão de Stock	Gestão stock	Faz a gestão do stock no software Organimold
Tornear	Daewoo Puma	Faz o torneamento da matriz do exterior e do furo com excesso para retificação
Tratamento térmico	Fornecedor	Expedição para tratamento térmico
Rectificar Ø exterior da matriz	Palmary 12S CC	Rectifica o diâmetro exterior
Eletroerosão a Fio	Fanuc Robocut a OiC	efetuar furo e saídas inferior e superior
Chanfrar matrizes	Máquina chanfrar	Efetuar chanfro matrizes
Extrudir	Extrudehone	Extrudir os furos das matrizes
Polimento manual geral	Rolo	Polimento do exterior da matriz (rolo)
Rectificar alturas finais	Chevalier FSG1632AD	Retifica a matriz para as alturas finais
Gravar	Gravação a laser	Efetua a gravação a laser na matriz
Medir e controlar	Controlo Qualidade	Controlo dimensional da matriz

A sequência das operações de maquinagem para este processo são:

1. Torneamento da matriz – exterior e furo;
2. Retificação diâmetros exteriores;
3. Eletroerosão a fio (furo, saída inferior e saída superior);
4. Chanfrar matrizes;
5. Extrusão/ escoamento abrasivo;
6. Retificação alturas finais.

No capítulo seguinte irá ser detalhado todas as diferenças existentes de um processo para o outro e a implementação que pode ser feita com a introdução do processo de eletroerosão a fio.

Capítulo 5

Implementação e fundamentos

Neste capítulo vão ir ser abordado como está a ser implementado em parte o processo de eletroerosão a fio no lugar do processo de retificação, assim como todas as operações que irão ser necessárias para o novo processo de fabrico. Os processos que são novos e quais os que se mantêm. No final do capítulo são analisados os fundamentos teóricos.

5.1. Implementação

A empresa Metalúrgica Lurga já produz todas as matrizes que não são redondas no processo de eletroerosão a fio, por isso, a escolha da solução para a empresa passou por trocar o processo de retificação das matrizes redondas pelo da eletroerosão a fio, pois já existe uma base para desenvolver este estudo e já estão criados os alicerces e as ferramentas. De seguida irá ser demonstrado com um diagrama o novo processo e toda a análise das alterações feitas ao processo anterior descrito no capítulo 3.

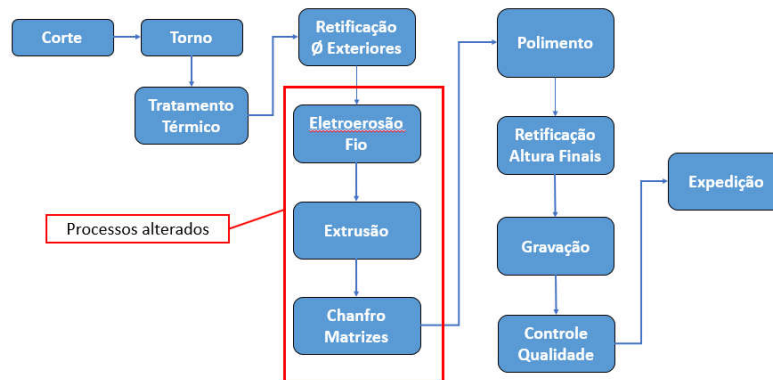


Figura 5.1 – Diagrama do processo de eletroerosão a fio.

Como havia sido referido anteriormente o corte da matéria-prima já se encontra em *stock*. Este processo é igual ao processo de retificação, onde esta operação é referida no trabalho apenas para demonstrar a existência da mesma.

Também se pode verificar que este processo é muito idêntico ao processo de retificação, mas com algumas diferenças. No diagrama da figura 5.1, verifica-se quais são os processos que são alterados. A eletroerosão a fio, como já foi falado, é o processo que constitui a principal mudança.

Depois vem a extrusão das matrizes sendo um processo obrigatório, porque as matrizes no processo de eletroerosão a fio oxidam e têm de passar pelo processo de extrusão para remover toda a ferrugem. Outra novidade são os chanfros das saídas das matrizes que até então eram feitos na operação de torno, agora passam a ser feitos na seção da serralharia numa operação manual.

Existe uma outra grande diferença na operação de torno que passa por ser apenas necessário efetuar um furo de cerca de 2mm de diâmetro, para poder facilitar a entrada do fio no processo de eletroerosão a fio. Esta mudança vai trazer grandes melhorias nos custos das ferramentas na operação de torno, pois irá apenas ser necessário adquirir brocas com o mesmo diâmetro e também porque poderão ser produzidas matrizes por tipo de matriz e em série que vão servir de *stock* para qualquer geometria que se tenha de produzir.

De seguida irá ser abordado com mais pormenor todas estas operações de forma que se percebam as mudanças. Em primeiro lugar irá ser abordado como o *layout* irá se definir no processo de eletroerosão a fio das matrizes redondas:

5.1.1. Layout do novo processo de fabrico

A figura 5.2 mostra como se vai organizar o novo *layout* para a produção de matrizes com o novo processo de fabrico de eletroerosão a fio. Aqui pode-se verificar todas as operações e todo o fluxo de processo de fabrico. O tipo de processo continua igual ao processo de retificação, mantendo-se uma produção em lotes. Neste *layout* podemos verificar que existem ainda grandes deslocações entre operações. Grande parte destas deslocações só poderiam ser evitadas se houvesse uma mudança de *layout* ao nível geral da fábrica. Mas como vimos no capítulo anterior existem algumas deslocações que podem ser evitadas e melhoradas. Continua a ter 12 processos, tal como o *layout* anterior, tendo como principais diferenças, como já foi falado, o chanfro das matrizes e a extrusão ou escoamento abrasivo.

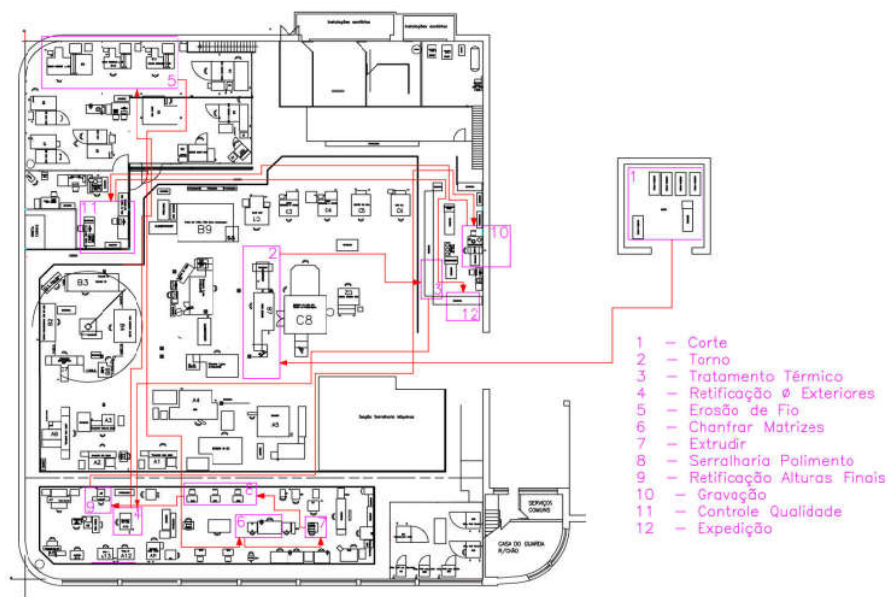


Figura 5.2 – *Layout* do processo de eletroerosão a fio

5.1.2. Processo de eletroerosão a fio

Na operação de eletroerosão a fio (figura 5.3) são executados o furo e as saídas das matrizes redondas. A tecnologia de eletroerosão a fio (*WEDM – Wire Electrical Discharge Machining*) é um processo de maquinagem não convencional, em que usa um fio contínuo, que é alimentado através da peça de trabalho, por um microprocessador que permite trabalhar peças com variadas durezas e que resulta na obtenção de geometrias complexas com uma elevada precisão. O processo desenvolve-se com o conjunto fio-matriz imersos num líquido dielétrico, onde a remoção do material é feito através de descargas elétricas controladas no gap existente entre a peça e o fio. A passagem do fio é contínua e nunca toca na peça que é trabalhada. O fio desta tecnologia tem uma espessura de 0,25mm e é composto por cobre e zinco - CuZn37 – Latão (figura 5.4). Este fio é adequado para esta máquina, pois é uma máquina de enfiamento automático [29].



Figura 5.3 – Processo de eletroerosão de fio



Figura 5.4 - Bobina de fio do processo de eletroerosão de fio

De salientar que existem na empresa 3 máquinas de eletroerosão a fio, todas elas dedicadas em cerca de 90% às matrizes com variadas geometrias, as restantes 10% dedicam-se a produzir outras peças. Irá de seguida ser explicado em mais detalhe todo o processo, ou seja, como funciona todo o processo de eletroerosão a fio das matrizes redondas.

Em primeiro lugar é necessária a montagem da placa de apertos (figura 5.5), esta placa tem 18 posições e é centrada e alinhada com o eixo dos x. É nesta placa que vão ser montadas todas as matrizes, ao qual já se percebeu que tem um limite de produção de 18 matrizes por máquina.

Depois de montada a placa, encontra-se o zero da placa de aperto que é definido após o centramento da placa.

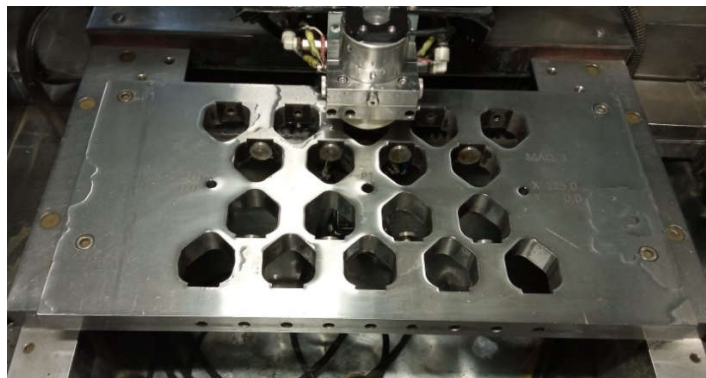


Figura 5.5 – Alinhamento e centramento da placa de apertos

O próximo passo é proceder à programação da máquina através do *software MasterCAM*, onde se define o perfil redondo, previamente enviado pelo projeto, definindo o programa que vai determinar o furo e as saídas da matriz (figura 5.6).

A linguagem de programação utilizada é *Fanuc* (figura 5.7) e o programa é definido por 4 subprogramas:

- 1º - Desbaste com paragem para retirar desperdício;
- 2º - Desbaste com acabamento vertical;
- 3º - Saída de baixo;
- 4º - Saída de cima.

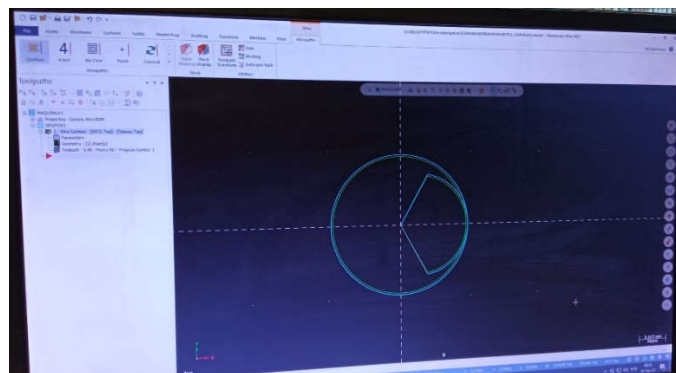


Figura 5.6 – Perfil Redondo e caminho de corte do material do furo da matriz

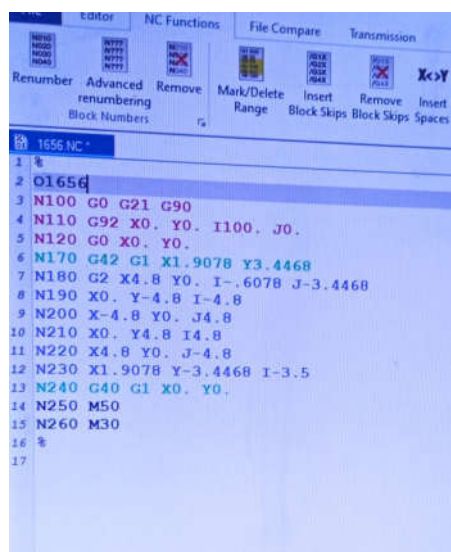


Figura 5.7 – Subprograma com a linguagem Fanuc

O primeiro sub-programa serve para dar o primeiro desbaste na peça. Tem uma paragem para poder-se remover o desperdício que sobra, para não encravar a cabeça no fundo da máquina. Sempre que se faz uma matriz. A máquina pára para o operador retirar o desperdício que se gera após o corte com o fio. De seguida inicia-se o segundo sub-programa, o desbaste e acabamento final da matriz e posteriormente a isso executa-se o terceiro sub-programa, a saída de baixo e por fim o quarto sub-programa, a saída de cima.

Após definição de todos os programas, estes são enviados para a máquina através da rede, onde

os mesmos ficam imediatamente disponíveis para execução dos trabalhos.

Após o carregamento de todo o programa na máquina, o operador segue com a montagem das matrizes na placa de aperto (figura 5.8). Esta placa é apertada, através de um parafuso que a aperta e ajusta na mesa. Esta mesa está preparada para todo o tipo de matrizes, “BB”, “B” ou “D”.

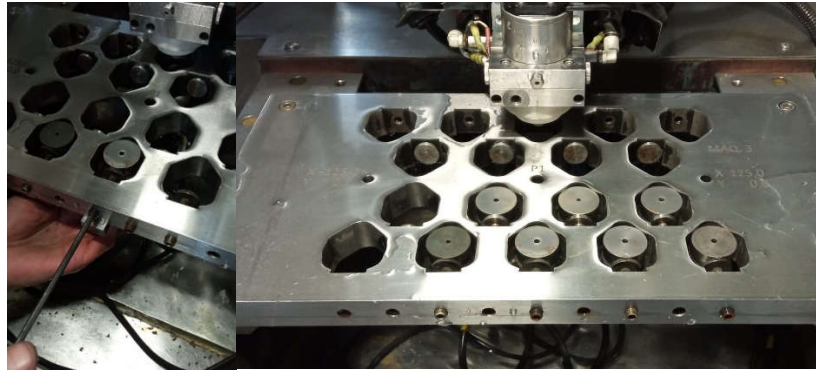


Figura 5.8 – Montagem das matrizes na placa de aperto

Depois da montagem das matrizes na placa de aperto, irá ser feito um primeiro ensaio a uma matriz, servindo como verificação de todo o processo para saber se está de acordo com o que é pretendido. Corre-se o programa e inicia-se o corte com o primeiro sub-programa. Após a finalização deste, com a ajuda de um ímã, retira-se o desperdício da matriz (figura 5.9).



Figura 5.9 – Retirada do desperdício com ímã da mesa da máquina

Retirado o desperdício da mesa e da matriz, o operador dá continuidade aos restantes sub-programas e a máquina faz todo o processo sem necessitar do operador. Portanto, faz o desbaste e acabamento, a saída inferior e por fim a saída superior. Após este processo é retirada a matriz (figura 5.10) da placa de apertos e inicia-se o processo de calibração da matriz para verificar se esta está em conformidade com o desenho de fabrico e de acordo com a especificação (anexo 4).



Figura 5.10 – Matriz de ensaio depois de acabada

A calibração é feita de duas formas. Primeiro com o calibre de concentricidade através de um comparador para verificar a concentricidade do furo (figura 5.11) e depois com o calibre passa não passa para verificar se o furo está na cota desejada (figura 5.12).

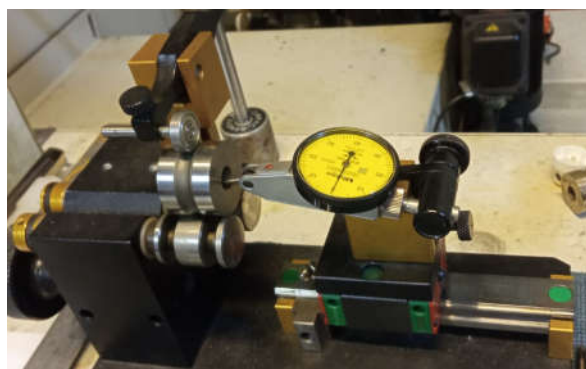


Figura 5.11 – Comparador para medir a concentricidade do furo da matriz



Figura 5.12 – Calibre passa não passa da matriz

Como se pode verificar as matrizes quando saem da eletroerosão a fio, como se sabe, vêm oxidadas no interior do furo, que é onde o fio efetua o corte, sendo causada quando a faísca entra em contacto com o material que está submerso em água destilada. Na figura 5.13 pode-se verificar esta oxidação. Esta oxidação dificulta a passagem do calibre passa não passa na matriz. Para verificar se

a peça realmente se encontra à cota é necessário levar esta peça de ensaio à extrusão do furo da matriz, de forma a retirar toda a ferrugem e que esta fique devidamente polida tanto no interior do furo, como das saídas inferior e superior. Esta operação irá ser descrita e analisada ainda neste capítulo, mas pode-se verificar na figura 5.14 como fica a matriz depois de extrudida e que o calibre passa perfeitamente na matriz.



Figura 5.13 – Oxição das matrizes após processo de eletroerosão de fio



Figura 5.14 – Calibre passa não passa e acabamento da matriz após escoamento abrasivo

Após ensaiar a matriz e verificar que está tudo conforme, o operador procede à montagem de uma matriz onde anteriormente se encontrava a matriz de ensaio.

Com as matrizes todas montadas na máquina, pode-se iniciar a produção de todas as matrizes, executando o primeiro sub-programa de forma sequencial até à matriz nº 18 se for o limite de produção, no caso da figura 5.15, são 7 matrizes, desbastando uma a uma pela ordem indicada na figura 5.15. Após ter sido corrido este sub-programa em cada matriz, existe uma paragem da máquina para permitir ao operador retirar o desperdício, evitando o encravamento da cabeça da máquina.



Figura 5.15 – Programa de finalização de 7 matrizes

Depois de retirados todos os desperdícios das matrizes a produzir, o operador segue com os seguintes sub-programas, onde já não necessita do operador, sendo um processo automático até à finalização das matrizes. Pode-se dizer que no início do processo, onde se retiram todos os desperdícios, esta máquina é dependente do operador, mas depois na fase de desbaste, acabamento e das saídas inferior e superior, o operador não é necessário, tendo a máquina autonomia para finalizar a obra sem qualquer auxílio.

As matrizes antes de irem para o processo de chanfrar, são oleadas para evitar a progressão da oxidação.

5.1.3. Chanfro matrizes

Neste processo são elaborados os chanfros nas saídas das matrizes (figura 5.16). Esta máquina foi projetada e desenvolvida pelo departamento de engenharia da Metalúrgica Lurga, trabalhando a ar comprimido. Este processo é manual e requer um operador dedicado na máquina a tempo inteiro. A ferramenta utilizada é uma mó em óxido de alumínio.

Este processo, como já havia sido dito, já estava a ser utilizado no processo de fabrico de matrizes de outras geometrias. No entanto, este processo vai ser necessário nesta fase, pois como irá ser abordado ainda neste capítulo, as matrizes não vêm chanfradas da operação de torno.



Figura 5.16 - Máquina de chanfrar saídas das matrizes

Para iniciar o processo o operador necessita de ter a certeza que a mó vai cortar a 45° , começando por retificar a mó para o ângulo desejado. Pode-se verificar na figura 5.17 como esta retificação é feita.



Figura 5.17 - Retificação da mó a 45°

Após retificar a mó, é tempo de calibrar a máquina, ou seja, consoante as matrizes serem tipo “BB”, “B” ou “D”, é necessário a calibração da altura da máquina, para ter a matriz na altura que é especificada no desenho. Antes do corte do chanfro, também é necessário limpar cada matriz, para retirar o óleo que foi colocado na eletroerosão a fio para evitar a progressão do processo de oxidação (figura 5.18).



Figura 5.18 - Matrizes oleadas para evitar processo de corrosão

Após a limpeza da matriz, esta é montada na base da máquina. Baixa-se a mó e inicia-se o corte da matriz de um dos lados (figura 5.19). O operador tem de ir retirando e verificando a matriz até obter o resultado desejado. Esta operação é feita a olho clínico, não é efetuado um controle dimensional. Neste caso esta cota acaba por não ser importante de medir, pois este chanfro no funcionamento da ferramenta na máquina de compressão irá servir para fazer guiar o punção superior na matriz, então não precisa de ser uma dimensão controlada, basta que esta tenha mais ou menos a cota desejada.



Figura 5.19 - Matriz pronta a cortar calibrada para o tipo de matriz

De seguida faz-se a mesma operação do outro lado da matriz. Prossegue-se com a próxima matriz e faz-se todas as matrizes de modo sequencial.

5.1.4. Escoamento abrasivo – Extrudehone

A operação de escoamento abrasivo (figura 5.20) é um processo mecânico de produção, onde o material é prensado através de uma matriz, forçando assim a passagem da pasta de polir através de um orifício, sob pressão, através de uma prensa horizontal. Esta pressão vai fazer com que a pasta se movimente para cima e para baixo, removendo material. Esta operação em grande parte automatizada e tem uma capacidade de limpar 4 matrizes ao mesmo tempo. A mesa da prensa é pequena, por isso só consegue suportar uma pequena base. A pasta de polir utilizada tem um abrasivo Al₂O₃ e tem uma viscosidade de 60 Pa.s.



Figura 5.20 - Processo de Extrusão - Extrudehone

Para iniciar esta operação, o operador começa por montar as bases na mesa da máquina. Estas bases têm 4 aberturas onde depois são montadas as 4 matrizes. Cada tipo de matriz tem uma base diferente, visto serem de diâmetros diferentes (figura 5.21).



Figura 5.21 – Montagem da base e das matrizes na base

Após colocada e centrada a base das matrizes na prensa, coloca-se a outra base por cima da mesa e pressiona-se a prensa sob esta montagem. Dá-se a pressão de 50 bar e 4 ciclos de pressão, um por cada tipo de matriz, sendo que cada ciclo tem um período. Após a definição de todos estes passos, inicia-se o processo de extrusão (figura 5.22), onde no interior a pasta é empurrada contra os furos das matrizes, fazendo com que, no final, estas sejam polidas.



Figura 5.22 – Processo de extrusão das matrizes

Terminados os 4 ciclos, retira-se a pressão, sobe-se a prensa, são retiradas as matrizes da máquina (figura 5.23) e são limpas, passando com um escovilhão próprio, para remover a pasta de polir existente nos furos das matrizes (figura 5.24).



Figura 5.23 – Matrizes após processo de extrusão



Figura 5.24 – Escovilhão para limpeza do furo da matriz após extrusão

Para finalizar o processo, passa-se o calibre passa não passa, para certificar-se que as matrizes estão à cota e que foram bem polidas. Este processo repete-se até se finalizar o lote de matrizes.

5.1.5. Torno

A grande diferença que existe do processo de retificação para o processo de eletroerosão a fio é o facto de não ser necessária a alteração da broca aquando da furação da matriz, pois o furo vai ser sempre o mesmo, portanto um furo de diâmetro 2mm (ver figura 5.25 e [anexo 7](#)). Este furo é feito em todo o tipo de matriz, seja, “BB”, “B” ou “D”, standardizando assim as matrizes no que toca a esta operação.

Outra diferença neste processo é que deixa de ser necessário fazer o chanfro da matriz, passando a ser feito manualmente no processo de chanfrar matrizes, como já foi verificado anteriormente.

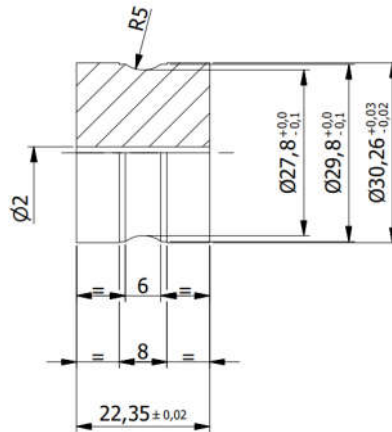


Figura 5.25 - Desenho da matriz de torno através do processo de eletroerosão a fio.

Todas estas mudanças fazem com que as matrizes no processo de torno sejam feitas com uma maior rapidez, com um custo inferior ao que era feito na operação de torno e standardiza o processo, podendo inclusivé ser feito *stock* de matrizes para os diferentes tipos de matrizes (“BB”, “B” ou “D”).

5.2. Retificação vs eletroerosão a fio

As principais alterações que vão ser feitas ao processo serão a substituição, como já foi anteriormente descrito, do processo de retificação pelo processo de eletroerosão a fio. Estas alterações passam por fazer uns pequenos ajustes no que toca á operação de torno, em que já não é necessário efetuar o furo com um diâmetro aproximado para a retificação e também não há necessidade de efetuar o chanfro que irá ser feito à posteriori. Após o processo de erosão existe a necessidade de incluir uma operação de extrusão do furo para retirar a oxidação, a camada branca e para dar o acabamento superficial desejado. Para finalizar irá ser criada uma operação para chanfrar as matrizes uma vez que estas já não são chanfradas no torno. Deixa de ser necessário efetuar o polimento do interior do furo, contudo, continua a ser necessário efetuar o polimento do exterior da matriz no rolo. Todas estas diferenças são mostradas na tabela 5.1, onde pode-se verificar a comparação entre os dois processos.

Tabela 5-1 - Comparação dos processo retificação vs eletroerosão a fio

Comparação dos processos de fabrico			
Operação	Máquina	Retificação	Eletroerosão a fio
		Descrição	Descrição
Gestão de Stock	Gestão stock	Faz a gestão do stock no software Organimold	Faz a gestão do stock
Tornear	Daewoo Puma	Faz o torneamento da matriz do exterior e do furo com excesso para retificação	Faz o torneamento da matriz do exterior e do furo com excesso para retificação
Tratamento térmico	Fornecedor	Expedição para tratamento térmico	Expedição para tratamento térmico
Rectificar Ø exterior	Palmary 12S CC	Rectifica o diâmetro exterior	Rectifica o diâmetro exterior
Centrar Furo	PAM 1/ PAM 2	Efetua o centro da matriz e a concentricidade	-----
Honing Furo	Sunnen	Honing do furo para a cota final	-----
Rectificar Sidas	Jagura	Retificar as saídas inferiores e superiores	-----
Eletroerosão a Fio	Fanuc Robocut a OIC	-----	efetuar furo e saídas inferior e superior
Chanfrar matrizes	Máquina chanfrar	-----	Efetuar chanfro matrizes
Extrudir	Extrudehone	-----	Extrudir os furos das matrizes
Polimento manual geral	Rolo + polidora manual	Polimento do furo e do exterior da matriz	Polimento do exterior da matriz (rolo)
Rectificar alturas finais	Chevalier FSG1632AD	Retifica a matriz para as alturas finais	Retifica a matriz para as alturas finais
Gravar	Gravação a laser	Efetua a gravação a laser na matriz	Efetua a gravação a laser na matriz
Medir e controlar	Controlo Qualidade	Controlo dimensional da matriz	Controlo dimensional da matriz

5.3. Fundamentos teóricos

Pretende-se neste subcapítulo, elaborar uma breve fundamentação teórica, com recurso à análise e pesquisa bibliográfica de estudos anteriormente realizados, relativamente aos processos estudados neste trabalho, mais concretamente no processo de retificação e *honing*, eletroerosão a fio e extrusão ou escoamento abrasivo, tendo como principal foco e objeto de estudo a análise da rugosidade e acabamento superficial nos diferentes processos.

5.3.1. Retificação e *honing*

No decorrer da pesquisa bibliográfica foi possível encontrar estudos que falam sobre a rugosidade superficial em vários processos. Pode-se verificar na tabela 5.2 e na figura 5.26, o resultado para alguns dos tradicionais e avançados processos de acabamento, onde indica o intervalo da média da rugosidade superficial encontrada, e que vai servir de guia para se escolher o processo mais adequado para o resultado em termos de rugosidade que se quer no final.

Tabela 5-2 - Rugosidade de superfície em diferentes tipos de processos [30]

	Nome do processo	Intervalo da média de rugosidade superficial (Ra)
1	Processo de torno	0,4 - 12 µm
2	Processo de retificação	0,5 - 1,2 µm
3	Processo <i>honing</i>	0,1 - 2,1 µm
4	Processo de lapidação	0,05 - 2,5 µm
5	Processo de supe racabamento	0,002 - 0,24 µm

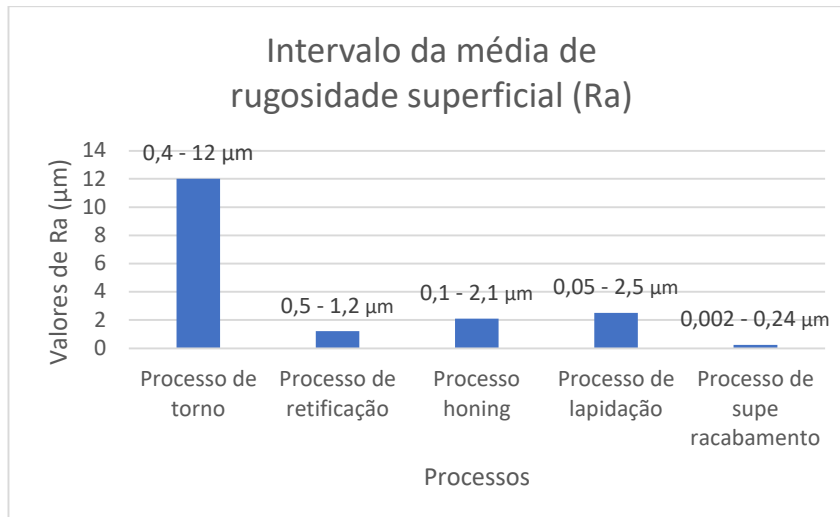


Figura 5.26 – Gráfico dos diferentes tipos de processos e rugosidades [30]

Analisando o gráfico verifica-se que o processo que deixa a peça com o pior acabamento é o processo de torno, entre $0,4 \mu\text{m}$ a $12 \mu\text{m}$. Enquanto que o processo de retificação deixa a peça entre os $0,5 \mu\text{m}$ até $1,2 \mu\text{m}$. O processo de *honing* encontra-se entre os $0,1 \mu\text{m}$ e os $2,1 \mu\text{m}$. Então pode-se concluir que em termos de acabamento, que depois de toronar a peça, pode-se ganhar ao retificar a peça, contudo ao utilizar o processo de *honing*, o acabamento irá melhorar substancialmente. Também se conclui que em algumas operações convencionais de acabamento, como a retificação, *honing* e lapidação o valor da rugosidade das peças acabadas podem produzir uma melhoria desta rugosidade de valores de 1% a 95% quando comparados com a operação de torno [30].

Foi possível encontrar noutro estudo que quando a furação é finalizada pelo processo e retificação tradicional esta é mais propensa a fissurar e a ter uma baixa eficiência. O processo de *honing* tem uma eficiência superior em termos de maquinagem e tem um efeito de refrigeração em comparação com a retificação tradicional. No estudo que foi encontrado foi aplicado este processo como forma inovadora à retificação tradicional e uma otimização eficaz para melhorar o acabamento superficial da furação.

Foram produzidos 80 provetes de aço carbono na experiência, com um furo de dimensão $\varnothing 20 \times 150\text{mm}$. No mandril foram utilizadas pedras em CBN (modelo K20 – igual ao que é utilizado no processo de *honing* da metalúrgica Lurga) e foram utilizadas em cada grupo de provetes para evitar a influência do desgaste. O óleo de refrigeração (modelo HM-2) foi utilizado para eliminar a retificação a seco. O equipamento da experiência e a estrutura do cabeçote de *honing* é mostrado na figura 5.27.

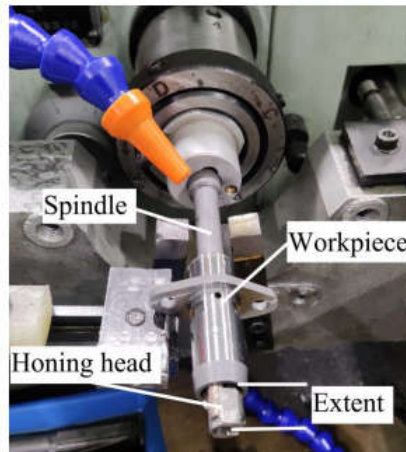


Figura 5.27 – Equipamento da experiência e a estrutura do cabeçote de honing [31]

O estudo consistiu em múltiplos grupos de testes, divididos em 3 grupos. Em cada grupo a pedra de corte sai da peça 10 mm, 20 mm e 30mm. A figura 5.27 mostra com mais exatidão o que se está a falar onde o “*extent*” é a extensão que fica de fora. Após a experiência foi possível concluir que quanto maior a velocidade de corte e a extensão da pedra de corte para fora da peça, melhor é o acabamento superficial do provete. Pode-se verificar ganhos dos 0,7 μm para os 0,1 μm . Portanto pode-se dizer que a rugosidade superficial melhora, mas verifica-se que podemos melhorar a rugosidade superficial com o manuseamento da máquina [31].

5.3.2. Eletroerosão a fio e escoamento abrasivo

Depois de se ter encontrado estudos que indicam que o processo de *honing* influencia e melhora o acabamento superficial das peças de um modo geral, foi possível encontrar estudos que abordam o processo de eletroerosão. Num dos estudos foram investigadas a rugosidade e o acabamento de superfície e as tensões residuais induzidas depois do processo de eletroerosão a uma peça tratada termicamente em que o material utilizado foi o AISI D2. Um material idêntico ao utilizado nas matrizes. O processo utilizado para melhorar a rugosidade e acabamento da superfície foi o processo de extrusão ou escoamento abrasivo, o que faz com que este processo seja muito idêntico ao estudo das matrizes por eletroerosão deste trabalho. De acordo com a tabela 5.4 pode-se verificar que depois do processo de extrusão é possível melhorar a rugosidade e acabamento superficial da peça.

Tabela 5-3 - Rugosidade superficial obtida [32]

	Rugosidade superficial Ra [μm]
Processo Eletroerosão	1,67
AFM - 3,5 MPa	0,47
AFM - 6,0 MPa	0,23

Na tabela 5.4 pode-se verificar que após o processo de Eletroerosão a peça ficou com uma rugosidade de 1,67 μm e que após a utilização da Extrusão ou Escoamento abrasivo, a rugosidade do

material foi melhorada, numa primeira fase para 0,47 μm e depois do aumento da força de 3,5MPa para 6Mpa, o acabamento superficial Ra melhorou ainda mais, passando para 0,23 μm . Com isto pode-se concluir que o processo de extrusão melhora garantidamente o processo de eletroerosão e que pode inclusive ser utilizado no processo de fabrico das matrizes.

Ainda dentro do mesmo tema, foi possível encontrar um estudo idêntico em que foi utilizado o mesmo material que foi falado anteriormente, mas os provetes foram tratados termicamente com as durezas de 31HRC, 45HRC e 55HRC, estes provetes foram cortados através do processo de eletroerosão a fio. Na tabela 5.5 pode-se verificar para os diferentes provetes, quais os resultados das medições à rugosidade encontradas:

Tabela 5-4 - Rugosidades medidas antes do processo de extrusão [33]

Dureza	Provete Nº	Rugosidade Superficial Ra [μm]
31 HRC	A13	2,5
	A14	2,4
	A15	2,4
	A16	2,5
	A17	2,5
	A18	2,5
45 HRC	B13	2,4
	B14	2,6
	B15	2,4
	B16	2,6
	B17	2,4
	B18	2,4
55 HRC	C13	2,4
	C14	2,6
	C15	2,4
	C16	2,4
	C17	2,4
	C18	2,5

Após medição da rugosidade aos provetes depois de erodidos, estes foram sujeitos ao processo de extrusão ou escoamento abrasivo, onde os parâmetros da máquina de extrusão utilizados foram 10MPa de pressão e 50g/s de coeficiente de escoamento. Na figura 5.29 pode-se verificar os resultados obtidos na experiência sobre a rugosidade de superfície:

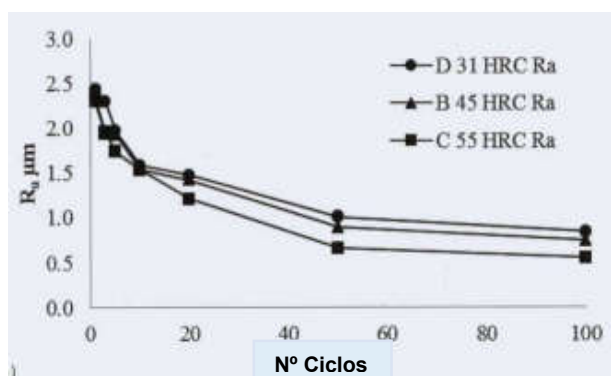


Figura 5.28 - Resultados da rugosidade de superfície após processo extrusão [33]

Dos resultados obtidos, pode-se verificar que quanto mais aumenta o número de ciclos, melhor vai ficando o resultado da rugosidade. Para as diferentes durezas o processo de extrusão comporta-se de maneira semelhante. Pode-se concluir que a camada branca que ocorre através do processo de eletroerosão, é removida perfeitamente com o processo de extrusão. Também remove fendas fazendo com que a resistência à fadiga aumente. A rugosidade de superfície e a qualidade do acabamento melhorou com o processo de escoamento abrasivo, pelo que se pode dizer que aumentando o número de ciclos a rugosidade melhora significativamente. Das três experiências obtidas, pôde-se verificar que em qualquer uma das durezas, o provete reagiu de forma similar, tendo resultados ao nível da rugosidade de superfície semelhantes [33].

Por último foi encontrado um outro estudo do qual apenas se irá focar sobre a análise teórica para estimar a remoção de material e a rugosidade superficial obtida durante o processo de escoamento abrasivo. Este estudo consistiu na simulação do processo de escoamento abrasivo através dos elementos finitos. Todos os dados apresentados foram baseados na estimativa teórica do acabamento superficial durante o processo de escoamento abrasivo.

O objetivo foi estabelecer um modelo, para determinar as tensões desenvolvidas durante o fluxo do processo de eletroerosão. Essas tensões calculadas podem ser usadas para avaliar a força de maquinagem, ou seja, a remoção de material e a rugosidade da superfície que podem ser obtidas. Foi utilizada uma abordagem teórica para os problemas de estimativa de remoção de material e acabamento superficial durante o processo de maquinagem por escoamento abrasivo.

Os valores de rugosidade superficial são apresentados na figura 5.30 e 5.31. A figura 5.30 relacionada com a pressão e a figura 5.31 com a percentagem de concentração de abrasivos.

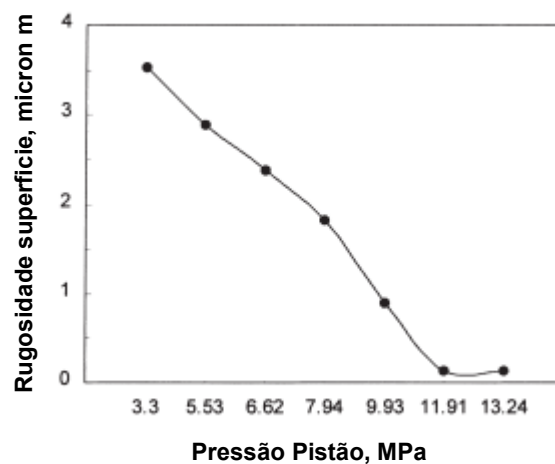


Figura 5.29 - Variação da superfície de rugosidade aumentando a pressão [34]

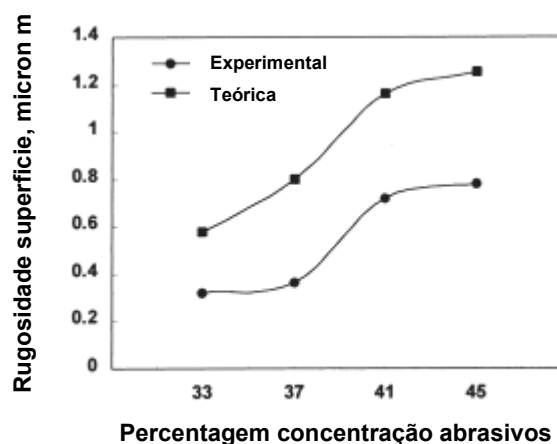


Figura 5.30 - Efeito da concentração percentual de abrasivos na mudança na rugosidade da superfície [34]

Na figura 5.30 a rugosidade da superfície diminui com o aumento da pressão até que se torna constante. Qualquer aumento da pressão a seguir irá danificar o acabamento superficial. Na figura 5.31 pode-se verificar que a rugosidade de superfície aumenta com o aumento do número da concentração percentual de abrasivos. Portanto quanto maior for o grão, pior vai ser o acabamento superficial. Resumindo, o valor da rugosidade da superfície diminui com o aumento da velocidade do pistão, da pressão, da porcentagem de concentração de abrasivos e do tamanho da malha de grão para um certo número de ciclos [34].

5.3.3. Conclusões e requisitos a atingir

De acordo com a análise elaborada anteriormente, é possível concluir que tanto o processo de *honing* como o processo de escoamento abrasivo, melhoram o acabamento superficial das peças e dos processos anteriores durante a fabricação. Foi possível verificar que após o torneamento e a retificação, aplicando o processo de *honing*, o grau de acabamento superficial irá melhorar muito.

Também se concluiu que para se ter um melhor acabamento, o manuseamento das máquinas é importante, para conseguir-se atingir esse objetivo. No caso do processo de *honing*, o simples facto da pedra do mandril sair cerca de 20mm para fora faz com que haja um melhor grau de acabamento superficial.

O processo de escoamento abrasivo dá um acabamento superficial à peça muito superior depois de erodir e além deste acabamento superficial é possível remover toda a camada branca existente e irá ser mais resistente em termos de oxidação. Como no processo de *honing*, aqui o manuseamento da máquina também é importante. Quanto maior o número de ciclos que se dá, melhor vai ser o acabamento superficial. Resumindo, o valor da rugosidade superficial diminui sempre que se aumenta a velocidade do pistão, da pressão, da porcentagem de concentração de abrasivos do tamanho da malha de grão.

Todos estes fatores são importantes na obtenção do acabamento desejado. No presente trabalho, um dos requisitos para a matriz, é que esta tenha uma cota de acabamento superficial do furo de 0,1

μm . Pôde-se verificar neste estudo dos fundamentos teóricos ser possível com a implementação do processo de *honing* com um intervalo de 0,1 μm a 2,1 μm , com a possibilidade de melhorar o processo através de um estudo mais detalhado ao processo. Já no escoamento abrasivo também é possível a implementação, mas neste processo terão de ser aumentados o nº de ciclos e da pressão sujeita para poder-se obter um acabamento mais próximo dos 0,1 μm como é requisito do projeto e desenho.

Capítulo 6

Testes e análise de resultados

Neste capítulo irão ser abordados todos os testes elaborados no processo de eletroerosão a fio, ou seja, os tempos tecnológicos do processo que foram contabilizados e retirados do *software Organimold*. De seguida irá ser feita uma análise de comparação a vários indicadores. Primeiro é feita uma análise aos tempos tecnológicos, seguida de uma análise do lead time e por fim uma análise aos custos de produção. No final deste capítulo irá ser feita um controlo de rugosidades e dimensional das matrizes, tanto de retificação como de eletroerosão a fio, sempre em modo de comparação, para se perceber qual o processo mais adequado.

6.1. Testes

Como foi falado no final do capítulo anterior, a empresa já produz matrizes no processo de eletroerosão a fio, são chamadas as matrizes de forma, ou seja, todas as matrizes que não são redondas. Foram feitos testes em todas as matrizes redondas ao longo de 5 meses para mais facilmente se tirar conclusões e ter uma amostra considerável.

Os dados foram recolhidos num total de 36 obras, sendo 12 para cada tipo de matriz (tipo “D”, “B” e “BB”), considerando a média para cada operação, levando à criação de 3 tabelas distintas para cada tipo de matriz, que, por se ter verificado que apresentavam tempos de ciclo idênticos, se resumiu apenas a uma tabela (tabela 6.1), como se irá apresentar mais à frente.

Na elaboração da tabela 6.1 foram quantificados todos os tempos de ciclo, ou seja, todos os tempos que a produção demorou para executar cada uma das operações. Nestes tempos estão incluídos os tempos de *setup* das máquinas, pois no *software* não dá para especificar e dividir os tempos de *setup* dos tempos dedicados à operação. Os tempos das movimentações e de espera não contam como tempo útil no processo, mas sim como *lead time*, que irá ser descrito ainda neste capítulo.

Estes dados foram retirados do *software Organimold* e colocados numa tabela feita em Excel, tal como na retificação elaborada no capítulo 3. Na recolha dos tempos de ciclo no software, verificou-se que existem muitas operações, onde os tempos não estão a ser imputados pelos operadores, dificultando assim a recolha dos dados. Por vezes foi necessário a inclusão de novas obras para um resultado mais exato.

Após a recolha de todos os dados e perceção dos tempos de ciclo idênticos, chegou-se à seguinte tabela de tempos tecnológicos:

Tabela 6-1 - Tabela dos tempos tecnológicos eletroerosão a fio.

Tempos tecnológicos no processo de eletroerosão de fio das matrizes por unidade							
Ordem	secção	operação	D.Operação	Descrição	máquina	Matriz	
						Tempo Organimold	Tempo
30	GS	PLAN_GS	Gestão de Stock	Gestão de Stock - Corte	GS	0,01	00:00:36
57	AAT	AAT_TOR_MAT	Tornear Matrizes	Tornear Matrizes	AAT_PUMA	0,07	00:04:12
123	X-TTERM	LOG_EXP_TT	Expedição TT [TT]	Expedição TT	TT-RAMADA	----	----
145	RECT	RECT_CRP_MAT	Rectificar Ø exterior da matriz	Rectificar Ø exterior da matriz	RECT_PALM_3260	0,07	00:04:12
155	EROF	EROF_FIO_MNT	Eletroerosão a Fio	Eletroerosão a Fio	EROF_MAQ3	0,51	00:30:36
158	SERR	SERR_CHF_MITZ	Chanfrar matrizes	Chanfrar matrizes	SERR_POLI5	0,05	00:03:00
159	SERR	SERR_EXTRUD	Extrudir	Extrudir	SERR_EXTRU	0,05	00:03:00
251	SERR	SERR_POL	Polimento manual geral	Polimento Final	SERR_ROLO2	0,05	00:03:00
260	RECT	RECT_ALT_F_MAT	Rectificar alturas finais	Rectificar Alturas Finais	RECT_FSG1632AD	0,05	00:03:00
289	LOG	LOG_GRAVAR	Gravar	Gravar	LOGLASER	0,03	00:01:48
293	CQ	CQ_MED_CON	Medir e controlar	Medir e controlar	CQ_MANUAL	0,03	00:01:48
Tempo total por matriz						0,92	00:55:12

Seguidamente, irão ser analisados todos os resultados obtidos, tanto na eletroerosão a fio como na retificação e irá ser feita uma comparação de todos os resultados para se elaborar conclusões e perceber se é mais viável, ou não, o processo de eletroerosão a fio.

6.2. Análise de resultados

De seguida irão ser feitas todas as análises necessárias com o objetivo de perceber qual o

processo mais eficaz, se o processo de retificação ou se o processo de eletroerosão a fio.

Para começar serão analisados os resultados obtidos dos tempos tecnológicos, quanto tempo demora a produzir uma matriz, o *lead time*, análise dos custos de produção e por fim uma análise á rugosidade do interior do furo da matriz e por fim um controlo dimensional da peça. De salientar que todas as análises e medições foram elaboradas em matrizes tipo “D”, para obter os resultados mais realísticos possíveis.

6.2.1. Análise de tempos tecnológicos

Aqui, como já havia sido falado, irão ser analisados todos os tempos produtivos das matrizes. Estes tempos de ciclo foram retirados do *software organimold* de ambos os processos, baseando-se e resumindo as tabelas que já foram anteriormente analisadas. Nesta fase irá ser feita uma comparação entre os dois processos para se perceber qual o processo mais rápido a produzir. Na tabela 6.2 verifica-se que, para se efetuar uma matriz no processo de retificação são necessários 44 minutos e 28 segundos e que uma matriz produzida pelo processo de eletroerosão a fio demora 55 minutos e 12 segundos.

Tabela 6-2 - Tabela de tempos de retificação VS eletroerosão a fio

Operação	Matriz			
	Retificação		Eletroerosão a fio	
	Tempo Organimold	Tempo horas	Tempo Organimold	Tempo horas
Gestão de Stock	0,01	00:00:36	0,01	00:00:36
Tornear Matrizes	0,10	00:06:00	0,07	00:04:12
Expedição TT	----	----	----	----
Rectificar Ø exterior da matriz	0,07	00:04:12	0,07	00:04:12
Centrar Furo	0,16	00:10:00	----	----
Honing Furo	0,09	00:05:04	----	----
Rectificar Saída	0,10	00:06:00	----	----
Eletroerosão a fio	----	----	0,51	00:30:36
Chanfrar matrizes	----	----	0,05	00:03:00
Extrudir	----	----	0,05	00:03:00
Polimento Final	0,10	00:06:00	0,05	00:03:00
Rectificar Alturas Finais	0,05	00:03:00	0,05	00:03:00
Gravar	0,03	00:01:48	0,03	00:01:48
Medir e controlar	0,03	00:01:48	0,03	00:01:48
Total tempos	0,74	00:44:28	0,92	00:55:12

Da análise da tabela 6.2 conclui-se que as matrizes produzidas com o processo de eletroerosão a fio demoram mais tempo que na retificação, ou seja, mais 10 minutos e 44 segundos que na retificação.

Analisando e somando apenas os tempos de ciclo dos processos de retificação e eletroerosão a fio pode-se verificar que são necessários 21 minutos no processo de retificação, enquanto no processo de eletroerosão a fio são necessários 30 minutos e 36 segundos. Verifica-se que o processo de eletroerosão a fio é mais demorado em relação ao processo de retificação, esteja-se a analisar o processo de início ao fim, bem como as etapas do presente estudo. Este aumento está relacionado com o processo de eletroerosão a fio, por ser um processo mais lento que os restantes. No entanto, este é um processo automático que necessita do operador apenas para fazer *setup* da máquina e retirar os desperdícios. Após este tempo, que são sensivelmente cerca de 7 minutos para o *setup* e 3 minutos

para retirar o desperdício (tempos retirados por amostragem durante a execução do trabalho), os restantes passos do processo são de forma autónoma com a máquina a produzir sozinha durante 20 horas.

Outra grande diferença, que não está contemplada nestes tempos, são os tempos de espera (*lead time*), que no processo de retificação são muito grandes de processo para processo. Existem sempre tempos de espera, porque esta operação necessita de um operador especializado e porque as máquinas são pouco sequenciais e não automatizadas, têm métodos arcaicos e morosos que fazem com que exista muitas vezes acumular de trabalho e imensas matrizes em fila de espera, levando á existência de turnos e á necessidade de horas extra que irão ser contemplados na análise dos custos. Os tempos de *setup* também são maiores.

Na eletroerosão a fio não existe tempos de espera entre operações, é um processo contínuo e o tempo de *setup* é menor que no processo de retificação.

Estes tempos de ciclo estão associados e relacionados, não só ao processo de eletroerosão a fio, mas também ao processo de torneamento, onde se pode verificar que os tempos deste processo reduziram significativamente (figura 6.1). Esta redução está relacionada com o facto de se conseguir produzir matrizes em série e não se necessitar da mudança da broca sempre que muda um furo, como na retificação.

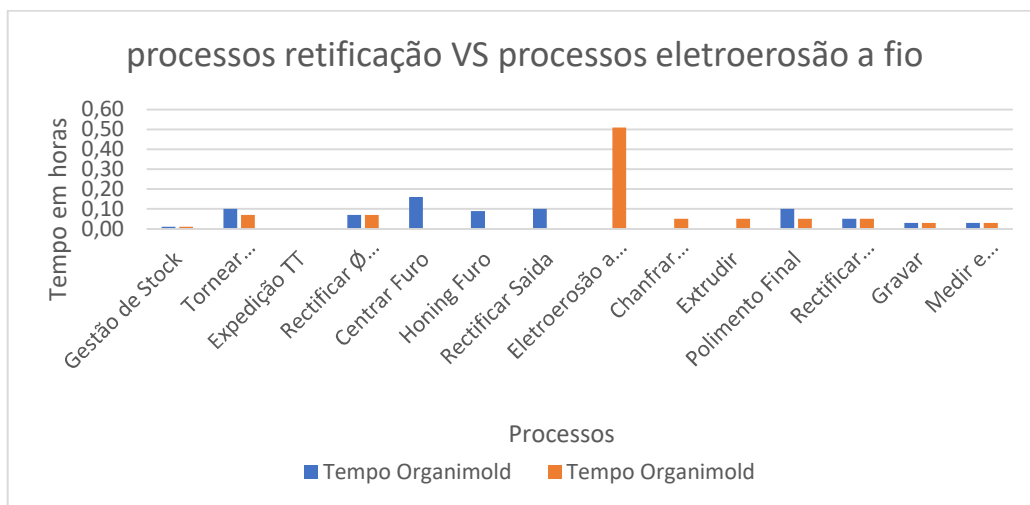


Figura 6.1 - Gráfico do processo de retificação VS eletroerosão a fio

Para confirmar e validar o que foi falado anteriormente, irá ser necessário analisar também os tempos de espera e de movimentações, que se dá pelo *lead time*, que existem no processo de retificação e no processo de eletroerosão a fio.

6.2.2. Análise do *lead time*

O *lead time* é um indicador e consiste no tempo total desde o pedido do cliente até à receção do produto. Esta é a forma ampla como se vê o *lead time*, e também como o cliente vê este indicador. Dentro do *lead time*, existem várias perspetivas, *lead time* do cliente, como foi falado, do *lead time* de

compra, de produção e de entrega. Todos eles, têm o mesmo conceito, mas para áreas diferentes.

No caso deste trabalho irá ser analisado uma componente do *lead time* da produção, que consiste no tempo que a matriz demora a fabricar. Neste tempo estão incluídos todos os tempos de espera, de movimentações e todos os recursos associados, contudo, apenas será tido em conta o *lead time* dos processos que irão ser alterados, ou seja, será feita a análise dos tempos de espera, de movimentações, tempos de ciclo e de *setup* associados apenas à fase do processo de retificação e da eletroerosão a fio.

Os dados foram recolhidos e extraídos do *software Organimold*, baseados nas obras que foram utilizadas nas tabelas de tempos tecnológicos descritas neste capítulo e no capítulo 3. Primeiro foi extraído o *lead time* da amostra selecionada para cada processo e elaborada uma média dos mesmos. Seguidamente efetuou-se o somatório dos tempos de ciclo de cada processo em estudo. De salientar que também foi feita a relação em percentagem para se perceber o impacto que pode fazer esta análise. Na tabela 6.3 pode-se verificar os dados obtidos:

Tabela 6-3 – Tabela do *lead time* apenas do processo retificação e eletroerosão a fio

	Lead Time Retificação	Cycle time Retificação	Lead Time Eletrosão a fio	Cycle time Eletroerosão
Tempo horas	1,2	0,35	0,71	0,51
Percentagem	100%	29%	100%	72%

Desta tabela pode-se analisar e perceber que a eletroerosão a fio tem um *lead time* mais aproximado do tempo de ciclo, ou seja, do tempo que se demora a produzir a peça neste processo. Os gráficos das figuras 6.2 e 6.3 seguintes mostram com mais clareza estes resultados:

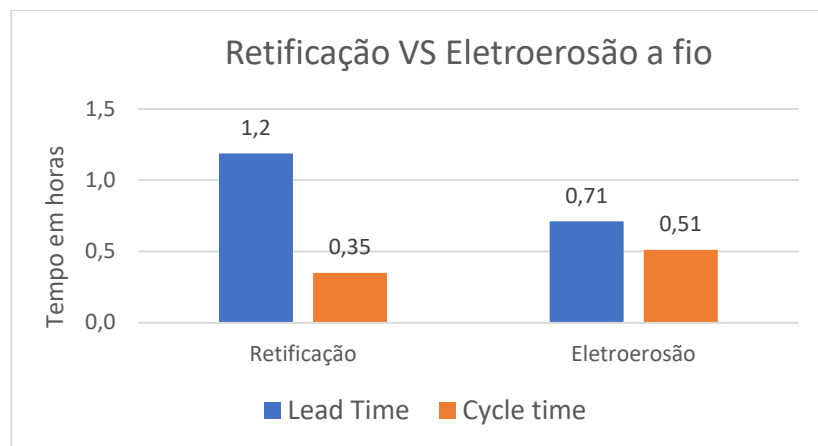


Figura 6.2 – Gráfico do tempo em horas do lead time por processo

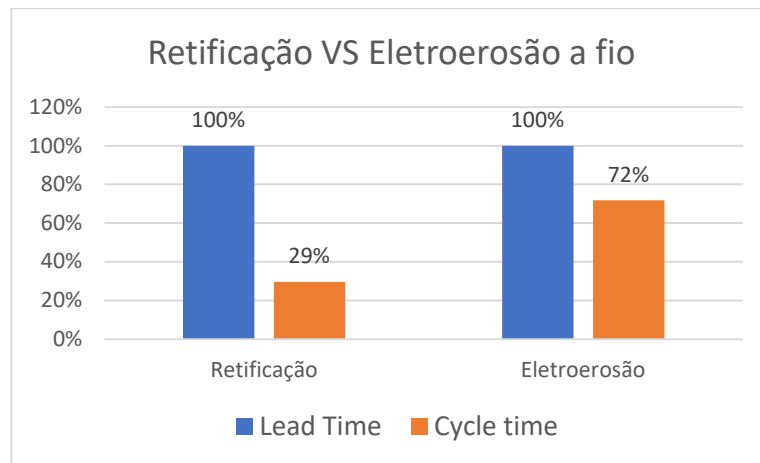


Figura 6.3 - Gráfico da relação em percentagem do tempo do lead time por processo

Pode-se verificar que a eletroerosão a fio ganha à retificação em termos de tempo de valor acrescido, tem menos tempos de espera e de movimentações, portanto podemos concluir que o processo de eletroerosão a fio é um processo mais rápido e mais eficaz. O *lead time* no processo de eletroerosão a fio só não é menor, porque o operador para deixar a máquina a laborar toda a noite necessita de deixar o tempo em execução no *software Organimold* e quando as máquinas deixam de laborar não existe uma forma de desligar a operação. O operador quando chega de manhã é que encerra a operação.

O *lead time* pode ser reduzido com vista a minimizar os tempos de espera e de movimentações. Esta melhoria traz ao processo mais rapidez no prazo de entrega das matrizes, redução de custos das matrizes, aumento da produtividade, redução de *bottleneck's* e um aumento da satisfação do cliente.

De seguida irão ser analisados todos os custos de produção para se perceber qual o processo mais barato, mas nunca esquecendo que o *lead time* influencia muito este custo de produção.

6.2.3. Análise dos custos de produção

Depois de analisar todos os tempos de fabrico das matrizes é necessário perceber quais são os custos de produção das mesmas. Os custos de produção são todos os custos relativos a qualquer atividade produtiva que visa a oferta de um serviço ou o fabrico de um produto. No caso deste trabalho é o custo de produção de um produto que é a matriz redonda. Estes custos podem ser fixos ou variáveis, dependendo do tamanho do lote, ou seja, à quantidade de matrizes a fabricar. Estas despesas incluem o custo da matéria-prima, o custo da mão-de-obra, das máquinas, da energia e das ferramentas. Neste estudo foi apenas tido em conta estes custos e não foi tido em conta custos como os impostos, manutenção, entre outros.

Os custos de produção irão servir de base de objeto de estudo para verificar qual o processo mais barato e mais vantajoso, determinando assim um preço para cada matriz, sejam provenientes do processo de retificação ou do processo de eletroerosão a fio.

Para elaborar os custos de produção, foi necessário obter todas as informações para a criação

das tabelas 6.4 e 6.5. Todos esses dados foram facultados pelos vários departamentos da empresa, desde as compras, a produção e também as vendas.

Na coluna da matéria-prima estão identificados os custos do material em conjunto com o corte da matéria-prima. Foi facultado pela gestão de topo uma tabela com todos os custos e horas gastas por máquina e por homem. Destes dados foram calculados juntamente com os tempos de ciclo, os custos de mão de obra e o custo das máquinas. Os custos de energia foram igualmente calculados com base em uma média de valores descritos numa tabela de consumos energéticos associados por máquina, fornecidos pelo departamento de produção. Foram tidas em conta todas as ferramentas/ consumíveis utilizados em ambos os processos e em todas as operações de fabrico, onde, com a ajuda dos supervisores de produção e departamento de compras, se chegou a uma estimativa dos valores gastos por secção e por matriz.

De salientar que foi tido em conta no processo de retificação (centrar furos, Oning e saídas), o trabalho por turnos e horas extra e no processo de eletroerosão a fio que as 3 máquinas existentes trabalham 20h por dia, onde 2 horas são gastas pelo operador, as restantes 18 horas a máquina labora sozinha.

No final fez-se um somatório de todos os custos e chegou-se às tabelas 6.4 da retificação e 6.5 da eletroerosão a fio, onde se demonstram os seguintes resultados:

Tabela 6-4 – Tabela dos custos de produção no processo de retificação por matriz

Custos de produção - processo de retificação das matrizes por unidade							
Operação	Tempo Organimold	Matéria-Prima	Custo mão de obra	Custo Máquina	Custo Energia	Custo Ferramentas	Total Custos
Gestão de Stock	0,01	1,50 €	0,10 €	0,00 €	0,02 €	0,00 €	1,62 €
Tornear Matrizes	0,10	----	0,34 €	1,17 €	0,02 €	1,07 €	2,60 €
Expedição TT [TT]	----	----	----	----	----	----	0,60 €
Rectificar Ø exterior da matriz	0,07	----	0,90 €	0,67 €	0,02 €	0,20 €	1,79 €
Centrar Furo	0,16	----	2,67 €	0,66 €	0,02 €	0,10 €	3,45 €
Honing Furo	0,09	----	1,50 €	0,61 €	0,02 €	0,20 €	2,33 €
Rectificar Saída	0,10	----	1,67 €	0,68 €	0,02 €	0,10 €	2,46 €
Polimento manual geral	0,10	----	0,96 €	0,06 €	0,02 €	0,10 €	1,14 €
Rectificar alturas finais (matrizes)	0,05	----	0,48 €	0,34 €	0,02 €	0,10 €	0,94 €
Gravar	0,03	----	0,36 €	0,09 €	0,02 €	0,00 €	0,47 €
Medir e controlar	0,03	----	0,25 €	0,09 €	0,02 €	0,00 €	0,36 €
Total							17,75 €

Tabela 6-5 – Tabela dos custos de produção no processo de eletroerosão a fio por matriz

Custos de produção - processo de eletroerosão a fio das matrizes por unidade							
Operação	Tempo Organimold	Matéria-Prima	Custo mão de obra	Custo máquina	Custo Energia	Custo Ferramentas	Custo produção
Gestão de Stock	0,01	1,50 €	0,10 €	0,00 €	0,02 €	0,00 €	1,62 €
Tornear Matrizes	0,07	----	0,24 €	0,82 €	0,02 €	0,10 €	1,17 €
Expedição TT [TT]	----	----	----	----	----	----	0,60 €
Rectificar Ø exterior da matriz	0,07	----	0,90 €	0,67 €	0,02 €	0,20 €	1,79 €
Erosão Fio Maquinagem	0,51	----	0,20 €	4,87 €	0,02 €	3,00 €	8,08 €
Chanfrar matrizes	0,05	----	0,48 €	0,03 €	0,02 €	0,15 €	0,68 €
Extrudir	0,05	----	0,48 €	0,03 €	0,02 €	0,12 €	0,65 €
Polimento manual geral	0,05	----	0,48 €	0,03 €	0,02 €	0,05 €	0,58 €
Rectificar alturas finais (matrizes)	0,05	----	0,48 €	0,34 €	0,02 €	0,10 €	0,94 €
Gravar	0,03	----	0,36 €	0,09 €	0,02 €	0,00 €	0,47 €
Medir e controlar	0,03	----	0,25 €	0,09 €	0,02 €	0,00 €	0,36 €
Total							16,94 €

Para se ter uma visão global sobre os diferentes custos de produção por operação, criou-se a tabela 6.6 que nos mostra de uma forma mais simples e resumida a comparação entre o processo de retificação com o de eletroerosão a fio:

Tabela 6-6 – Tabela de comparação dos custos de produção por processo

Operação	Custos produção da matriz	
	Custos produção retificação	Custos produção Eletroerosão a fio
Gestão de Stock	1,62 €	1,62 €
Tornear Matrizes	2,60 €	1,17 €
Expedição TT	0,60 €	0,60 €
Rectificar Ø exterior da matriz	1,79 €	1,79 €
Centrar Furo	3,45 €	- €
Honing Furo	2,33 €	- €
Rectificar Saida	2,46 €	- €
Eletroerosão a fio	- €	8,08 €
Chanfrar matrizes	- €	0,68 €
Extrudir	- €	0,65 €
Polimento Final	1,14 €	0,58 €
Rectificar Alturas Finais	0,94 €	0,94 €
Gravar	0,47 €	0,47 €
Medir e controlar	0,36 €	0,36 €
Total	17,75 €	16,94 €

Através destes dados verifica-se que o processo de retificação é mais caro 0,81€ que o processo de eletroerosão a fio. Mesmo sendo um processo mais lento, o processo de eletroerosão a fio acaba por ser um processo mais barato, pois as máquinas não estão dependentes do operador a toda a hora, não requerendo de um operador dedicado na máquina e não ser necessário turnos, nem o pagamento de horas extra, como na retificação.

Verifica-se também que os custos no processo de torno diminuem circunstancialmente da retificação para a eletroerosão a fio, visto este último não requerer a compra de tantos consumíveis, nomeadamente as diversas brocas necessárias no processo de retificação.

Foi feita ainda uma análise de comparação do que é orçamentado e vendido ao cliente, do que custa no processo de retificação e também do custo no processo de eletroerosão e obteu-se o gráfico da figura 6.4 onde mostra os seguintes resultados:

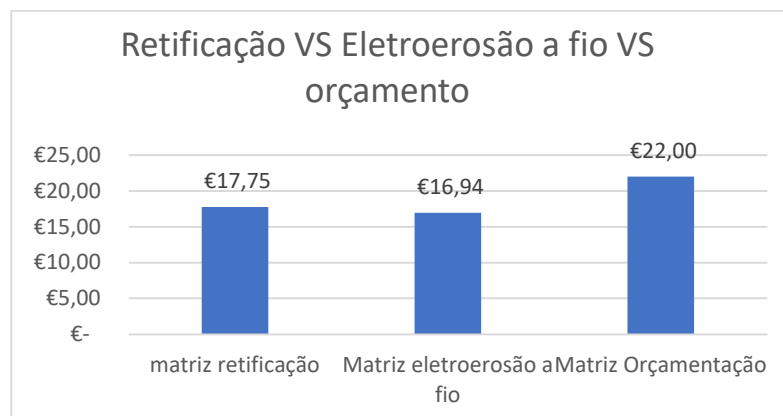


Figura 6.4- Gráfico de comparação de custos

Pode-se verificar como já foi anteriormente dito que existe um ganho de 0,81€ em relação ao processo de retificação, mas também existe essa relação com o que é vendido em média ao, ou seja, se antes a empresa tinha um de 4,25€ com o processo de retificação, com a implementação deste processo o lucro vai subir para os 5,06€.

6.2.4. Medição de rugosidade

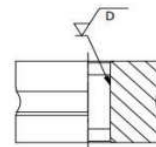
Para perceber se as matrizes estão a ter o mesmo nível e grau de acabamento tanto no processo de retificação como no processo de eletroerosão a fio foi necessário efetuar um estudo das rugosidades. Esta medição é importante, pois o furo da matriz é onde as outras ferramentas de compressão irão trabalhar, como já foi descrito no capítulo 2.

Estas medições foram feitas em 4 fases, no processo de retificação, antes e depois de polimento e no processo de eletroerosão a fio antes e depois de extrudir. Serviram de amostra 8 matrizes de cada fase do processo, que foram medidas 4 vezes, cada uma delas, em cada uma das extremidades e no fim foi feita uma média dos resultados obtidos. A tabela 6.7 mostra todos os resultados obtidos destas medições:

Tabela 6-7 – Tabela de medição de rugosidades das matrizes

Medição de rugosidade do furo das matrizes										
	Matriz Retificação				Matriz Eletroerosão a fio				Cota D	Rugosidade (Ra)
	Antes polimento		Depois polimento		Antes extrusão		Depois extrusão			
	Cota C	Desvio C	Cota C	Desvio C	Cota C	Desvio C	Cota C	Desvio C		
Matriz 1	0,205	0,105	0,113	0,013	0,626	0,526	0,108	0,008		
Matriz 2	0,215	0,215	0,104	0,004	0,533	0,533	0,121	0,021		
Matriz 3	0,196	0,196	0,081	0,019	0,585	0,585	0,127	0,027		
Matriz 4	0,186	0,186	0,146	0,046	0,492	0,492	0,113	0,013		
Matriz 5	0,212	0,212	0,103	-0,003	0,464	0,464	0,103	0,003		
Matriz 6	0,216	0,216	0,110	0,010	0,522	0,522	0,105	0,005		
Matriz 7	0,230	0,230	0,101	0,001	0,494	0,494	0,132	0,032		
Matriz 8	0,187	0,187	0,096	-0,004	0,587	0,587	0,114	0,114		
Media	0,206	0,106	0,107	0,007	0,538	0,438	0,115	0,015		

Cota	Rugosidade (Ra)
D	0,1



Nota: As medidas indicadas na tabela estão em μm

Pode-se verificar que as matrizes depois de retificadas têm um acabamento superior ao das matrizes depois de erodidas a fio. Em relação ao nível de acabamento final de ambas as matrizes, ou seja, depois de polir e extrudir, pode-se verificar que as matrizes ficam com o acabamento final e de rugosidade desejado que são os $0,1\mu\text{m}$ (medições indicadas na tabela) e que não existe grande diferença entre elas em termos de acabamento. Pode-se concluir que em ambos os processos, as matrizes passam neste controle. No gráfico da figura 6.5, pode-se verificar melhor os valores da tabela 6.7:

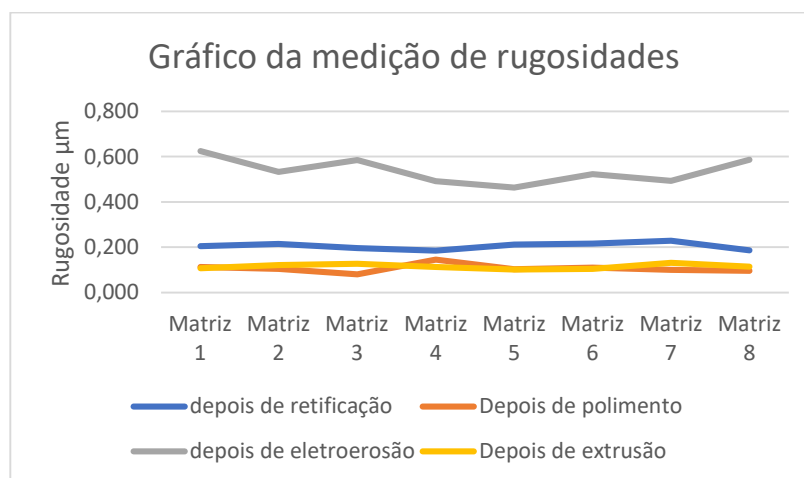


Figura 6.5 - Gráfico da medição de rugosidade nas 8 matrizes de amostra

No gráfico da figura 6.5 pode-se verificar em mais detalhe tudo o que foi explicado anteriormente e perceber também que a matriz após o processo de eletroerosão a fio tem um acabamento muito inferior à retificação.

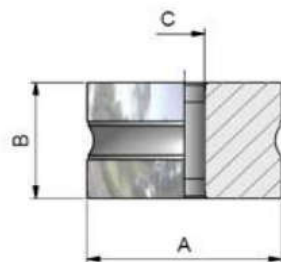
Relativamente ao processo depois de polir no processo de retificação e depois de extrudir no processo de eletroerosão a fio, pode-se verificar que há um resultado mais constante na matriz de eletroerosão a fio que na retificação, mas em ambos os processos a matriz tem a dimensão de acabamento desejada.

6.2.5. Controlo dimensional

À semelhança das medições da rugosidade foi necessário fazer uma análise e um controlo das medições dimensionais da matriz no final da produção. Foi elaborada uma tabela baseada numa amostra de 25 matrizes tipo “D” produzidas na retificação e 25 matrizes tipo “D” produzidas na eletroerosão a fio, que foram medidas e controladas com micrómetros de exteriores e de interiores e no final foi feita uma média dos resultados. Nesta tabela estão apresentados a média das 25 matrizes, o máximo e o mínimo encontrado nas matrizes em ambos os processos. A tabela 6.8 demonstra com mais detalhe todos os resultados obtidos.

Tabela 6-8 – Tabela de controlo dimensional das matrizes de ambos os processos

Controlo dimensional												
	Matriz Retificação						Matriz Eletroerosão a fio					
	Cota A	Desvio A	Cota B	Desvio B	Cota C	Desvio C	Cota A	Desvio A	Cota B	Desvio B	Cota C	Desvio C
Máximo	38,095	-0,005	23,808	-0,002	10,009	0,009	38,093	-0,007	23,807	-0,003	10,013	0,013
Mínimo	38,091	-0,009	23,806	-0,004	10,002	0,002	38,091	-0,009	23,805	-0,005	10,010	0,010
Média	38,094	-0,006	23,807	-0,003	10,004	0,004	38,092	-0,008	23,806	-0,004	10,011	0,011



Cotas e tolerâncias da matriz			
Cota	Dimensão	Mínimo	Máximo
Cota A	38,1	-0,003	-0,011
Cota B	23,81	0	-0,01
Cota C	10	0,018	0

Nota: As medidas indicadas na tabela estão em mm

Nesta tabela verifica-se que, tanto as matrizes de retificação como as matrizes de eletroerosão a fio, estão dentro da tolerância e especificada nos desenhos. Falando da zona de trabalho da ferramenta de compressão – matriz, que é a dimensão C, pode-se verificar que a matriz de retificação está mais próxima do valor requerido que a matriz de eletroerosão a fio, mas a diferença é muito insignificativa, a rondar os 7µm, o que faz com que estes dois processos em termos de controlo dimensional estejam equiparáveis.

Pode-se concluir que de uma maneira geral o processo de eletroerosão a fio, apesar de ser um processo mais moroso, revela-se como um processo mais rentável, visto o lead time deste processo

ser mais aproximado do tempo de ciclo, bem como é um processo mais autónomo, mais barato, comparando com a retificação. Relativamente ao controlo dimensional e das rugosidades, pode-se assumir que ambos os processos passam com distinção e no controle.

Capítulo 7

Conclusões e desenvolvimentos futuros

Para finalizar irão ser abordadas todas as conclusões que se retiraram deste trabalho. Também serão abordados alguns dos pontos que ficam em aberto e que são os possíveis desenvolvimentos do futuro deste processo de fabrico das matrizes, por forma a investir na melhoria contínua deste processo.

7.1. Conclusão

Com este trabalho foi possível estudar o processo de retificação das matrizes redondas e perceber quais os problemas associados a este processo. Feito o estudo e analisados os problemas encontrados, a empresa decidiu debruçar-se sobre o processo de eletroerosão a fio, como forma de perceber se existiriam benefícios reais na substituição do processo existente.

Com a elaboração deste trabalho foi possível verificar que a eletroerosão a fio é um processo que não altera muito o layout do processo no geral, mas que se revela como sendo mais vantajoso de um modo geral.

Pode-se dizer que o processo de eletroerosão a fio traz benefício em relação ao processo de retificação, porque além de ser um processo mais barato em 0,81€ por matriz, é um processo que pode gerar stock, otimizando os “tempos mortos” em que não existam encomendas a decorrer, podendo então “diminuir” tempos de ciclo nas próximas encomendas.

Dado que na eletroerosão a fio se verifica que os três últimos sub-programas do processo são autónomos, não necessitando da intervenção humana, o operador fica disponível para produzir outras encomendas ou exercer a sua atividade noutra estação de trabalho, concluindo-se que este, comparativamente à retificação, torna a produção mais eficiente e o acabamento da matriz mais preciso, uma vez que é menos dependente do fator humano, o que, como se sabe é o maior fator gerador de erro.

Ao criar as tabelas e na recolha dos dados através do *software* Organimold concluiu-se que os operadores não estão a imputar todos os tempos de ciclo no software e também que não existe uma base que fundamente os tempos de *setup*.

Conclui-se também que existe a possibilidade de reduzir o custo no processo de eletroerosão a fio, visto o valor dos consumíveis ser muito alto, o custo da bobine de latão ronda os 3€ por matriz, sendo este um dos fatores que encarece a mesma.

Foi possível concluir e perceber que na eletroerosão a fio o lead time é mais reduzido que no processo de retificação, contudo é de referir que o lead time no processo de eletroerosão a fio só não é menor, pois o operador não consegue fechar a operação no software assim que as máquinas acabam de laborar, visto ser a uma hora que o operador não está na empresa, fechando-a apenas aquando da sua entrada ao serviço.

Em termos de lead time podemos ainda verificar que no processo de retificação, o desperdício, ou seja, tempos de espera e de movimentações, é sensivelmente 71% enquanto que na eletroerosão a fio, o desperdício ronda os 28%, concluindo-se então que no segundo processo existe uma maior eficiência dos tempos de lead time.

Ao nível do controlo dimensional e da rugosidade e acabamento da matriz pode-se concluir que ambos os processos são eficientes e que as matrizes passam no controle. De referir que as matrizes quando saem do processo de retificação têm um acabamento superior ao processo de eletroerosão, mas depois de polidas e extrudidas, as matrizes ficam com um grau de acabamento igual. O grande problema existente entre estes dois processos é as saídas das matrizes. O processo de retificação é um processo manual e que não se consegue controlar, enquanto no processo de eletroerosão a fio é

definido na máquina e executado automaticamente o que faz com que neste processo as saídas sejam melhores do que na retificação.

Da análise dos fundamentos teóricos abordados relacionados com a rugosidade superficial pode-se concluir que os resultados obtidos, são idênticos aos que foram encontrados neste trabalho, relativamente ao processo de retificação, *honing*, eletroerosão a fio e escoamento abrasivo.

Conclui-se que os objetivos deste trabalho foram atingidos, na medida em que foi possível verificar os problemas existentes no processo de retificação, bem como validar que o processo de eletroerosão a fio é mais vantajoso que o processo de retificação. Esta vantagem é observada por ser um processo mais autónomo, onde não necessita do ser humano a 100% e a tempo inteiro, verificando-se ser um processo mais barato, o que se traduz num ganho superior por matriz, tendo em conta os valores orçamentados.

Em suma pode-se concluir que o processo de eletroerosão a fio é uma boa alternativa ao processo de retificação, tanto nos custos de produção, nos tempos de espera, como na qualidade do produto final. Contudo, ainda existem muitas coisas que podem ser melhoradas nas várias fases do processo. Todos esses desenvolvimentos irão ser abordados de seguida com vista à empresa ter uma base de desenvolvimento para o futuro.

7.2. Desenvolvimentos futuros

Neste trabalho ficam em aberto algumas questões que no futuro poderão ser trabalhadas, sempre com vista à melhoria contínua do processo:

- Melhoria no layout da fábrica, o layout é confuso e pode ser alterado por forma a reduzir os tempos de movimentação, exemplo disto seria a colocação do controle de qualidade junto à logística, permitindo que depois de controlar, o lote de matrizes ficasse junto ao embalamento e expedição, diminuindo assim os tempos de movimentação;
- Definição de caminhos na oficina para ajudar nas movimentações de forma a ter um *layout* mais limpo, com a criação de passagens que ficariam interditas a pessoas alheias à área em questão, por forma a que estes não atrapalhem as movimentações necessárias à realização das operações, melhorando assim a organização dos trabalhos;
- Utilização de técnicas *Lean*, com vista a redução de desperdícios, como o 5's, optimização do layout da fábrica, Gestão visual, Kanban, entre outras. Efetuando um estudo exaustivo do desperdício, tanto nos tempos como em paragens ou movimentações e até mesmo organização, como forma de consciencializar a empresa para uma cultura de produção mais eficiente;
- Estudo da redução do *lead time* dos processos de um modo geral, visto só se ter analisado o processo de eletroerosão a fio vs. processo de retificação, através das técnicas *Lean* anteriormente referidas;

- Robotizar e automatizar ainda mais o processo de eletroerosão a fio, utilizando robôs que sejam autônomos, não sendo necessário um ser humano para a produção das matrizes, nomeadamente na fase em que o operador necessita de retirar os desperdícios da máquina e também na alimentação da máquina com matrizes, libertando a mão-de-obra para outras operações;
- Redução do custo de fabrico das matrizes, adquirindo máquinas de eletroerosão a fio que já contêm cabeças rotativas que garantem a redução no consumo dos consumíveis em cerca de 40%, estas máquinas têm a tecnologia “i Groove” que é um mecanismo que faz rodar o fio e que permite reutilizar o fio na sua totalidade.
- Redução do preço dos consumíveis da eletroerosão, ou seja, da bobine de latão. É necessário elaborar um estudo e uma pesquisa de novos fornecedores de forma a ter uma carteira de clientes qualificados nesta área. Isto faz com que haja uma melhor relação preço-qualidade;
- Elaborar um estudo mais aprofundado aos consumíveis utilizados nos processos de fabrico por forma a verificar e a analisar o comportamento que os mesmos irão ter nos diferentes materiais, com isto pode haver uma redução nos custos de consumíveis e uma melhor qualidade do produto final
- Criação de procedimentos de operações *standard* nas máquinas existentes na oficina. A criação destas SOP's por operação facilitaria aquando da chegada de novos operadores, ou alguma dúvida que tenham, seja facilmente identificada nestes procedimentos e posteriormente resolvida, evitando assim paragens do operador e da máquina, para além de que ajuda no desenvolvimento do operador.

Referências bibliográficas

- [1] Prista, L., Aves, A., Morgado, R. & Lobo, J. em Tecnologia Farmacêutica (eds. Prista, L., Aves, A., Morgado, R. & Lobo, J.) 325–477 (Gulbenkian, Fundação Calouste, 2011), ISBN: 972-31-0975-1;
- [2] Marshall, K. em Teoria e Prática na Indústria Farmacêutica (eds. Lachman, L., Lieberman, H. & Kanig, J.) 113–171 (Fundação Calouste Gulbenkian, 2001), ISBN: 9789723109085;
- [3] Gibson, M. em Pharmaceutical Preformulation and Formulation: A Practical Guide from Candidate Drug Selection to Commercial Dosage Form (ed. Gibson, M.) 199, 367–430 (informa healthcare, 2005), ISBN: 9781420073171;
- [4] Varma, K. Excipients used in the Formulation of Tablets. J. Chem. 5, 143–154 (2016), ISSN: 2319-9849;
- [5] Máquina misturadora com recipiente móvel, <https://www.medicaexpo.com/pt/prod/lb-bohle-maschinen-und-verfahren-gmbh/product-115137-766591.html>, acessido em Maio de 2022;
- [6] Máquina misturadora com recipiente fixo, <https://zhitongmachinery.en.made-in-china.com/productimage/COWtdFhZiJkq-2f1j00BeFVDnCqStoM/China-Pharmaceutical-Powder-Mixing-Machine-Powder-Emulsifier-Mixer.html>, acessido em Junho de 2022;
- [7] Máquina de granulação a seco, <https://www.pharmacymachines.com.pt/1-1-high-efficiency-dry-granulating-machine-new.html>, acessido em junho de 2022;
- [8] Máquina de granulação via húmida, <https://www.medicaexpo.com/pt/prod/lb-bohle-maschinen-und-verfahren-gmbh/product-115137-766580.html>, acessido em junho de 2022;
- [9] Máquina de compressão Kilian S250 Smart, <https://www.medicaexpo.com/pt/prod/romaco/product-114009-758682.html>, acessido em junho de 2022;
- [10] Máquina de revestimento, <https://www.directindustry.com/pt/prod/nano-pharm-tech-machinery-equipment-co-ltd/product-223191-2282861.html>, acessido em junho 2022;
- [11] Máquina de compressão excêntrica, <https://emjuvi.com/tableteadoras-excentricas/maquina-de-comprimir-tableteadora-excentrica-bonals-mod-amt.html>, acessido em Junho de 2022;
- [12] Máquina de compressão rotativa, <https://www.fette.com.br/produtos/compressoras-de-comprimidos/i-series/>, acessido em Junho de 2022;
- [13] Imagem de diferentes comprimidos, <https://grupo.tecfag.com.br/blog/os-tipos-de-comprimido/>, acessido em Junho de 2022;
- [14] “Produção de comprimidos”, André Costa, Metalurgica Lurga, abril 2019;
- [15] Hoag, S., Dave, V. & Moolchandani, V. em Pharmaceutical Dosage Forms: Tablets (eds. Augsburger, L. & Hoag, S.) 555–630 (informa healthcare, 2008), ISBN: 9780429191794;
- [16] Alderborn, G. em Pharmaceutics: The Science of Dosage Form Design (ed. Aulton, M. E.) 397–441 (Churchill Livingstone, 2002), ISBN : 0443036438;

- [17] G. Alderborn, "Tablets and Compaction," in Aulton's Pharmaceuticals The design and manufacture of medicines, 4th ed., M. E. Aulton and K. M. G. Taylor, Eds. pp. 504–549 ISBN: 9780702081545;
- [18] M. J. Bogda, "Tablet Compression: Machine Theory, Design, and Process Troubleshooting," in Encyclopedia of Pharmaceutical Technology, 3rd ed., J. Swarbrick, Ed. pp. 3611–3629 ISBN: 9781351124874;
- [19] G. S. Banker and N. R. Anderson, in Teoria e Prática na Indústria Farmacêutica, 3rd ed., L. Lachman, H. A. Lieberman, and J. L. Kanig, Eds. pp. 509–597 ISBN: 9789723109085;
- [20] Norma ISO 18084:2011, <https://www.iso.org/standard/57880.html>, acessado em Julho de 2022;
- [21] Especificação TSM, <https://ebusiness.pharmacist.com/PersonifyEbusiness/Shop-APhA/Product-Details/productId/115810>, acessado em Julho de 2022;
- [22] Página internet Metalúrgica Lurga, <https://www.lurga.pt/>, acessado em Abril de 2022;
- [23] Página internet *software* Organimold, <https://www.grandesoft.com/organimold.htm>, acessado em Abril de 2022;
- [24] Lee. 1998, Projeto de Instalações e do local de trabalho, IMAM 1ªedição, Quaterman;
- [25] Yang, T.; SU, C.; HSU Y. 2000. Systematic layout planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities, International journal of operations and production management, volume 20, n.º 11, ISSN: 0144-3577;
- [26] Drira, A.; Pierreval, H.; Hajri-Gabouj, S. 2007 Facility layout problems: A survey. Annual Reviews in Control, volume 31, n.º 2, p. 255–267;
- [27] Gaither, N. e Frazier, G. (2002) Administração da Produção e Operações. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, ISBN: 85-221-0237-6;
- [28] Slack, N., Chambers, S. e Johnston, R. (2007) Operations Management, Operations Management. Harlow: Pearson Education Limited, ISBN: 9780077126179;
- [29] K. H. Ho, S. T. Newman, S. Rahimifard, and R. D. Allen, "State of the art in wire electrical discharge machining (WEDM)," International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 44, pp. 1247-1259, 10// 2004, ISSN: 0890-6955;
- [30] Mohammad Dashtia, Abdulaziz Albannai, A Review on Surface Roughness (Ra) Ranges for Some Finishing Processes, 2020, ISSN 2229-5518;
- [31] Tao Tang, Chi Liu e Rong Wang, Optimization of Honing Surface Roughness of Carburized Holes Based on GRA-RSM, 2021, DOI:10.3390/machines9110291;
- [32] J. Kendaa, F. Pusaveca, G. Kermoucheb, J. Kopaca, Surface Integrity in Abrasive Flow Machining of Hardened Tool Steel AISI D2, 2011, DOI: 10.1504/IJMPT.2013.052788;
- [33] Kursad Gov, Omer Eyercioglu, Mehmed Veysel Cakir, Hardness effects on abrasive flow machining, 2013, ISSN: 0039-2480;
- [34] Rajendra K. Jain, Vijay K. Jain, P.M. Dixit, Modeling of material removal and surface roughness

in abrasive flow machining process, 1999, ISSN : 1883-8022.

Anexo 1

Fases do processo de compressão

A figura 1.1 resume as etapas do processo de compressão no fabrico de comprimidos na indústria farmacêutica:

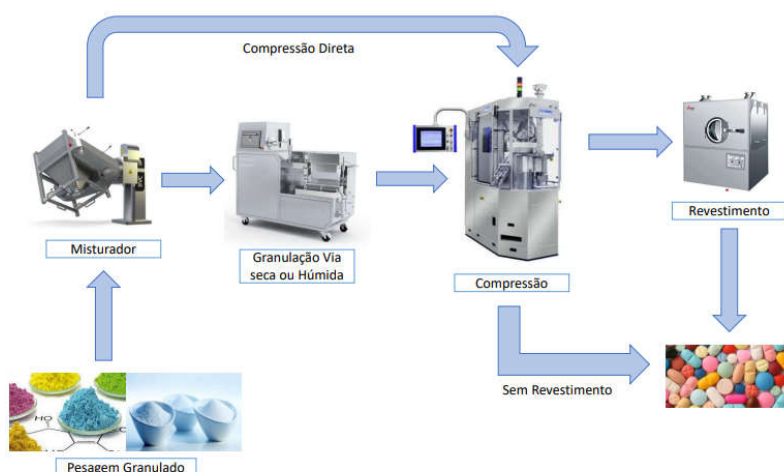


Figura 7.1 - As fases do processo de compressão

De seguida irá ser descrita cada fase do processo:

Pesagem

Neste processo são recebidas as matérias-primas e identificadas. Estas matérias-primas são pesadas, lacradas e colocadas em depósitos lacrados, tudo separado, evitando assim a contaminação cruzada dos produtos. Cada depósito lacrado contém apenas um lote de produto. Após o enchimento dos depósitos, estes são transferidos, sempre devidamente lacrados, diretamente para os setores produtivos onde irão ser utilizados.

Misturadora

Por norma é necessário proceder á granulação das matérias-primas dos comprimidos, mas em casos que esta operação de granulação é dispensável, as matérias-primas seguem diretamente para a compressão, mas estas matérias-primas necessitam de ser misturadas e esta mistura tem a designação de “compressão direta” ou “mistura direta”.

Existem 2 tipos de misturadores, a misturadora com recipiente fixo e a misturadora com recipiente móvel. Na figura 1.2 podemos ver os dois tipos:



Figura 7.2 - Misturadora com recipiente móvel [5] e com recipiente fixo [6]

Granulação

Depois das matérias-primas serem devidamente pesadas por lote, estas são entregues ao departamento de granulação para a sua execução. Este processo pode ser simples ou complexo, dependendo das características das matérias-primas ou pós e também dos equipamentos disponíveis. Existem 2 tipos de granulação, a granulação por via húmida e a granulação por via seca (figura 1.3).

A granulação por via seca é um processo de moagem, onde o objetivo, é aumentar proporcionalmente o tamanho dos grãos sem utilizar uma solução líquida, pois o produto pode ser sensível ao calor e à humidade ou pode não compactar bem. Neste processo os elementos devem primeiro ser pesados, depois divididos nas proporções adequadas, seguidamente são misturados e por fim passam por uma etapa de compactação. No final do processo os produtos compactos produzidos são moídos e são recolhidos com a granulometria pretendida.

A granulação húmida é um processo onde se faz a adição de aglutinantes líquidos às matérias-primas ou pós, aglomerando as partículas de pós secas e primárias com um fluido de granulação. Este fluido contém solvente que tem de ser volátil, para que possa ser removido por meio de secagem. Depois desta mistura secar e se tenha formado uma massa consistente, o granulado é moído. Este processo pode ser feito no misturador de elevado ou de baixo cisalhamento.

Ambos os processos requerem o carregamento individual e a alimentação precisa dos ingredientes farmacêuticos ativos (API).



Figura 7.3 - Máquina granulação a seco (esquerda) [7] e máquina granulação via húmida (direita) [8]

Compressão

A compressão, pelo que o nome indica, é a operação onde se vai obter o produto “comprimidos”, sendo realizada numa máquina de compressão. Esta compressão é determinada pela força de compressão necessária, dimensão final dos comprimidos, tempo de duração do lote a comprimir, definição do material a comprimir e produção requerida. Para ocorrer a compressão é necessário ter dois punções, 1 superior e 1 inferior, e uma matriz, e que consistem numa estação da máquina de compressão, podendo haver mais do que uma estação. Os punções exercem as forças contrárias dentro da matriz que contém a receita farmacêutica em forma de pós ou grãos, que comprimindo vão dar origem ao comprimido. Mais à frente neste capítulo será descrito com mais detalhe todo o processo. A figura 1.4 mostra uma máquina de compressão:



Figura 7.4– Máquina de compressão Kilian S250 Smart [9]

Revestimento

Após o processo de compressão, existem comprimidos que necessitam de variados revestimentos, este princípio consiste em aplicar uma composição de revestimento sobre a superfície externa do comprimido. O principal objetivo deste processo é regular a rapidez do comprimido a dissolver-se, permitindo definir onde os medicamentos ativos são absorvidos pelo organismo após a sua ingestão, por exemplo, no estômago ou intestino. Permite também identificar os comprimidos por cores, aumentar a sua estabilidade e mascarar o sabor, dependendo do produto e da sua utilização.

Existem diversos tipos de equipamento de revestimento. A figura 1.5 mostra uma máquina de revestimento.

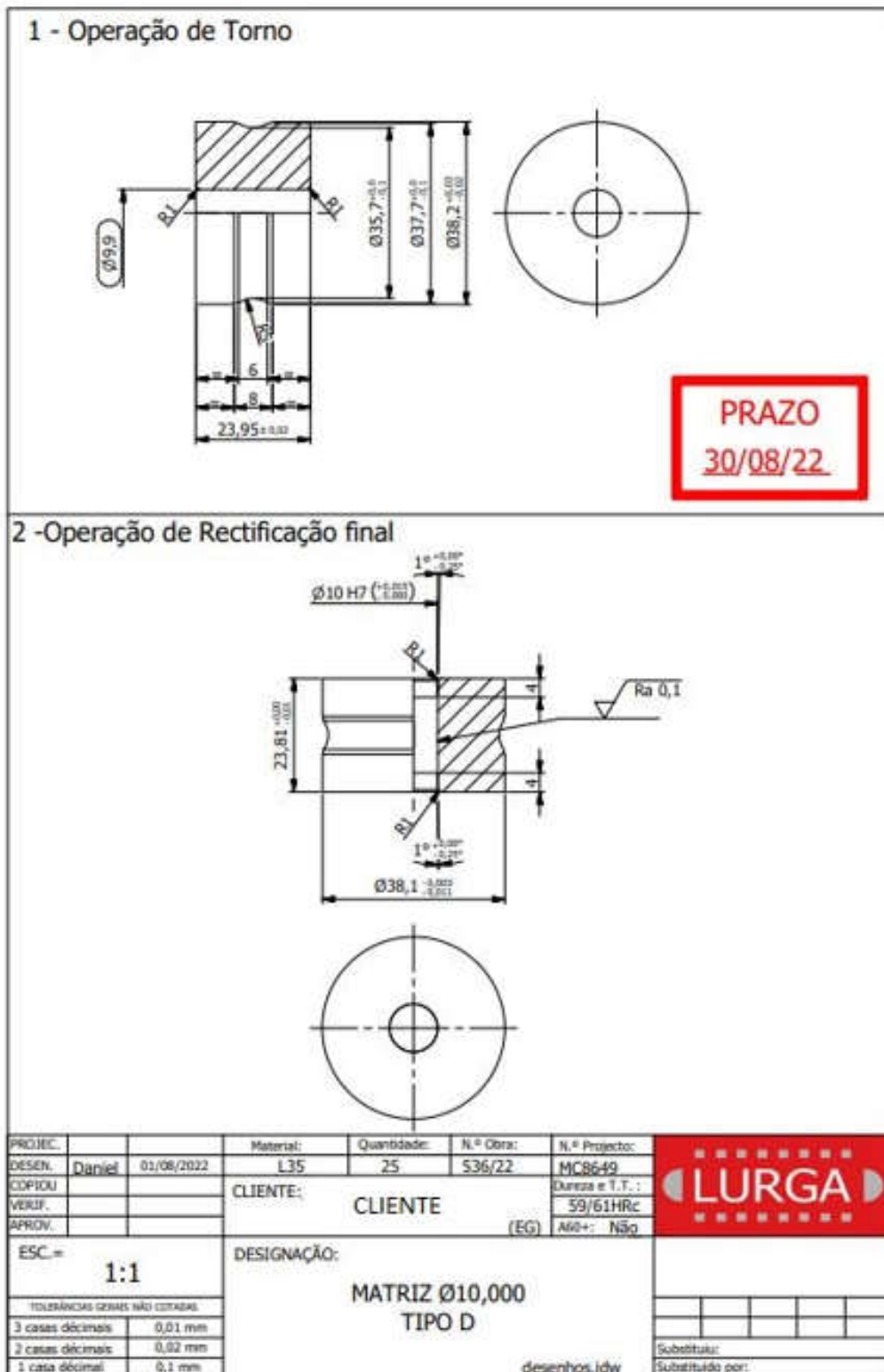


Figura 7.5 – máquina de revestimento [10]

Anexo 2

Desenho das matrizes - Retificação

Desenhos de fabrico do processo de retificação das matrizes.



Anexo 3

Processo de fabrico Retificação

Corte da matéria-prima

Nesta etapa do processo, o operador começa por receber uma folha de corte da matéria-prima vinda do planeamento, esta folha indica a quantidade de material que é necessário cortar para a obra. Este material está identificado por cores (figura 3.1 lado esquerdo) e é colocado em estantes (figura 3.1 .lado direito), pintados com as cores do código respetivo.

Marcação dos aços e sua dureza				
Cor	Nome comercial	Nosso código	Durezas HRC PUNÇÃO	Durezas HRC MATRIZ
		L10	56/59	61/63
		L12	56/59	61/63
		L16	56/58 Consultar	60/61
		L17	56/59	Não aconselhável
		L18	55/58	Não aconselhável
		L19	55/58	Não aconselhável
		L20	58/60 Cabeças 59/61	62/64
		L25	Consultar 56/59	Não aconselhável
		L26	Consultar 56/59	Não aconselhável
		L27	56/59	Não aconselhável
		L30	56/58	Não aconselhável
		L30	56/58	Não aconselhável
		L32	Não aconselhável	61/63
		L35	55/58 Consultar	55/61 em A60 59/62 em A60
		L40	56/59	Não aconselhável

MOD.065.02 Criado por: Manuel Reis Alterado por: André Costa Data: 19/05/2013 Data: 26/01/2021

Binário Temporário

1

Figura 3.1 - Marcação dos aços (esquerda) e *jig* da matéria-prima devidamente identificada(direita)

Neste trabalho irão ser estudadas as matrizes em L35. O código de cor do material é definido pela empresa, por forma a não ser percebido no exterior quais os materiais que se utiliza e também para existir uma rastreabilidade ao processo. Os materiais são confidenciais e não poderam ser partilhados pela empresa.

Iniciando o processo de corte, o operador retira o varão em L35 da estante, coloca no serrote (figura 3.2), define a dimensão e corta. Por norma os varões são cortados em troços de 1300mm, pois é o limite que o alimentador do torno tem para os varões.



Figura 3.2 – Serrote para corte da matéria-prima

Neste departamento é elaborado todo o corte das matérias-primas, tanto das matrizes como dos punções superiores e inferiores, entre outros produtos que a empresa fabrica e comercializa.

Os varões para as matrizes são todos cortados com 1300mm de comprimento e ficam em *stock* para todas as obras, sendo que esta operação não gera tempo ao nosso processo. Apenas vai ser necessário o tempo de gerir o *stock* de matérias-primas no *software*.

Torneamento

Na operação de torno (figura 3.3), o varão é torneado, é feito um corte em revolução em toda a peça que vai dar origem à geometria da matriz. Esta operação é em série, é um processo automático e o operador só necessita de mudar de programa e calibrar, quando se muda de tipo de matriz, ou seja, “D”/ “B” ou “BB”.



Figura 3.3 – Tecnologia de torno

Depois do planeamento definir que materiais necessita, este informam e entregam ao operador o que é necessário efetuar a obra, que depois entrega à secção de torno, os varões previamente cortados. O varão é colocado no alimentador (figura 3.4), para ser iniciada a operação de torneamento das matrizes. Esta operação é dividida basicamente por duas etapas, o torneamento do lado A e do Lado B, a figura 3.5 mostra ambos os lados, a figura 3.6 o lado A e a figura 3.7 o lado B.

Após este passo inicia o lado B (figura 3.5 e 3.7), deste lado o torno chama novamente a ferramenta para facejar e faz o facejamento na peça, de seguida faz o furo à cota de -0,1mm (figura 3.5) com a broca apropriada ao furo que se pretende. Por fim a máquina procede ao chanfro da peça, finalizando assim a peça. Esta é ejetada para um cesto (figura 3.8), que recolhe todas as matrizes enquanto o operador está noutro processo.

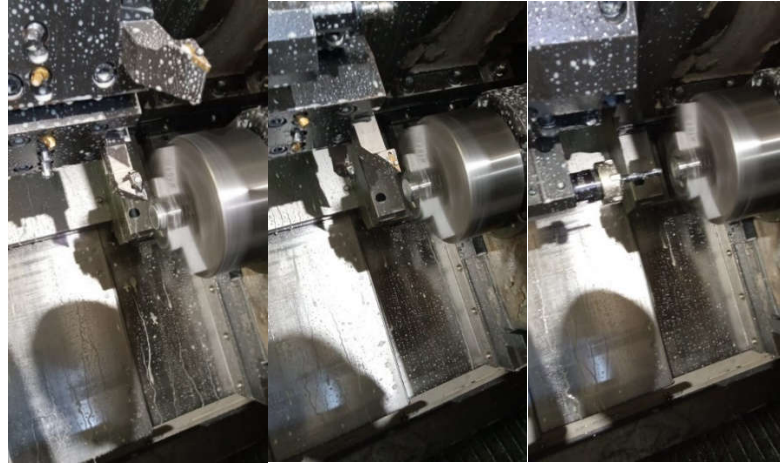


Figura 3.7 – Processo de torneamento da matriz do lado B

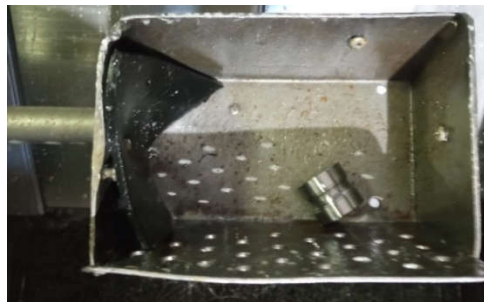


Figura 3.8 – Recipiente onde as matrizes caem depois de acabadas

De salientar que todas as operações têm uma ferramenta para fazer o desbaste e depois o acabamento, isto é muito importante para termos o acabamento desejado da peça. O processo de torno é um dos mais importantes, pois as matrizes têm de ser fabricadas com rigor para nos processos seguintes não terem retrabalho, pois podem não estar à cota.

Tratamento Térmico

Após o torneamento das peças, estas vão para o tratamento térmico. Este processo é subcontratado a uma empresa especializada externa. A definição do tratamento térmico é indicada pela Metalúrgica Lurga, que depois é executado pela empresa subcontratada. É feita uma guia de transporte das peças para o fornecedor. Estas peças ficam a aguardar no departamento de expedição (figura 3.9), onde o tempo de toda a operação está condicionado à empresa subcontratada.



Figura 3.9 – Expedição para tratamento térmico

Por vezes as obras requerem um tratamento especial que acompanha as matrizes e que define um tratamento diferente do que é habitual, mas isto só acontece em casos específicos.

Retificação

Neste departamento (figura 3.10) é feito todo o processo de retificação das matrizes, desde retificar diâmetros exteriores, furos, saídas das matrizes e, após o polimento, as alturas finais. Nesta fase iremos abordar 4 das operações de retificação. A primeira operação é a retificação dos diâmetros exteriores para a cota final, a segunda e terceira é a retificação dos furos, primeiro centrar e depois colocar o furo à cota final, o processo de *honing* e por fim as saídas. Na figura 3.11 pode-se verificar estes 4 processos com mais clareza e detalhe.



Figura 3.10 – Departamento de retificação

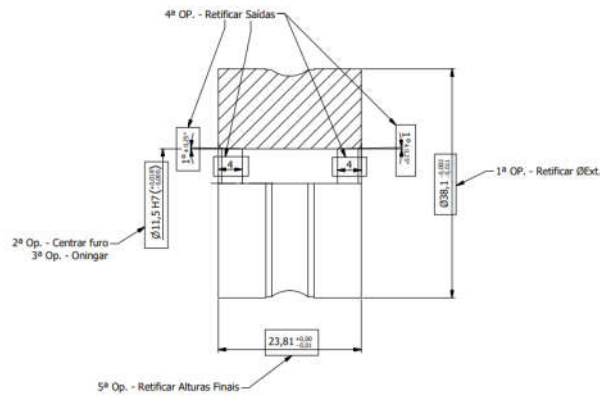


Figura 3.11 - Desenho de retificação das Matrizes

Retificação diâmetros exteriores

O processo de retificação (figura 3.12) inicia-se com a retificação dos diâmetros exteriores das matrizes, este processo é um processo automático e sequencial. Nesta tecnologia são produzidas matrizes por tipo de matriz e não por prioridade, pois assim conseguem uma maior eficiência da máquina, pois existe um *bottleneck* no processo, o tempo de *setup* é grande. Demora-se cerca de 36min em tempo de *setup* sempre que altera a máquina para cada tipo de matriz. A ferramenta utilizada neste processo é uma mó de carboneto de silício – Ø205x150x90.



Figura 3.12 – Processo de retificação de diâmetros exteriores das matrizes

O primeiro passo é calibrar as réguas e a mó (figura 3.13), ou seja, o *setup* da máquina. Aqui afinam-se as alturas, verifica-se se as réguas estão ou não empenadas, alinha-se a régua com a mó e lubrifica-se a máquina para iniciar a operação. Depois faz-se o alinhamento das matrizes em relação às duas mós e centram-se.



Figura 3.13 – Calibração da máquina e das matrizes na Centerless

Depois da calibração, faz-se uma primeira passagem nas mós (figura 3.14), esta primeira passagem retira cerca de 0.029mm de material. Ao fim de cada passagem as matrizes são medidas com um micrómetro para controlar a medida do diâmetro exterior (figura 3.15). Por norma faz-se entre 3 a 4 passagens até obter a cota final.

Na figura 3.21 pode-se verificar que as matrizes entram na máquina através da ajuda do operador em direção às mós, guiadas pela régua, saindo do outro lado de forma automática, já retificadas, caindo assim numa mesa (figura 3.16) para posteriormente serem recolhidas e depois voltarem a ser retificadas ou são guardadas para o processo seguinte.

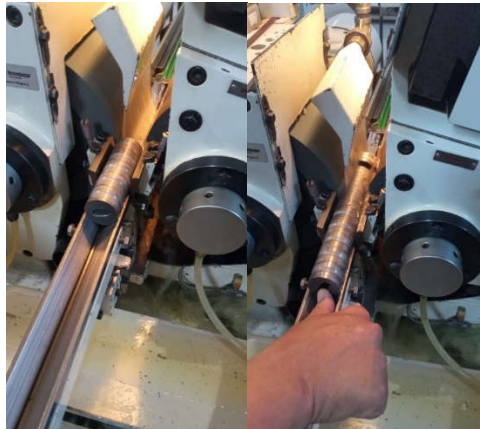


Figura 3.14 – Entrada de um conjunto de matrizes na máquina



Figura 3.15 – Controle do diâmetro exterior com micrômetro

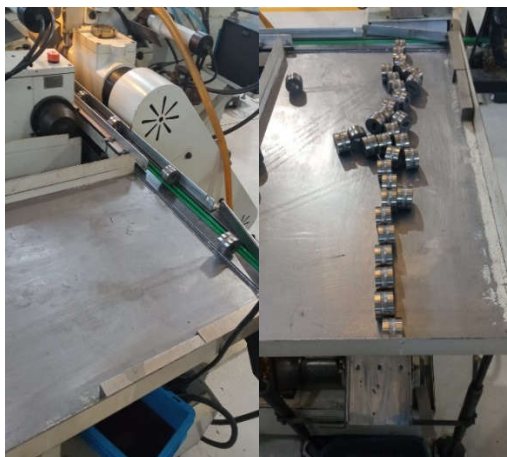


Figura 3.16 – Saída das matrizes da máquina *Centerless*

Retificação para centrar furos

A operação de retificação centrar furos (figura 3.17) serve para fazer o desbaste do furo da matriz, de forma a colocar concêntricos o furo com o diâmetro exterior. É um processo automático, mas só se consegue fazer matriz a matriz. A ferramenta que é utilizada neste processo é uma mó em diamante sintético e varia o diâmetro consoante o furo que se quer trabalhar e todas elas têm a mesma composição.



Figura 3.17 - Processo de retificação de diâmetros interiores das matrizes

Neste passo o operador começa por colocar a matriz na bucha da máquina e faz a calibração com o comparador, como pode ser verificado na figura 3.18.



Figura 3.18 – Montagem e calibração da matriz

Após calibrar e acertar a matriz, o operador insere na máquina a cota de entrada e de saída da ferramenta e o nº de passagens (figura 3.19) que é necessário para a obtenção da cota desejada. Aproxima a mó ao diâmetro do furo existente até iniciar o corte e dá início ao corte (figura 3.20). O número de passagens necessário para ter o resultado desejado são sempre cerca de 2x 10 passagens. O facto de não dar as 20 passagens na primeira vez, prende-se por ser necessário ir medindo a peça. Assim não corre o risco de passar a dimensão pretendida.

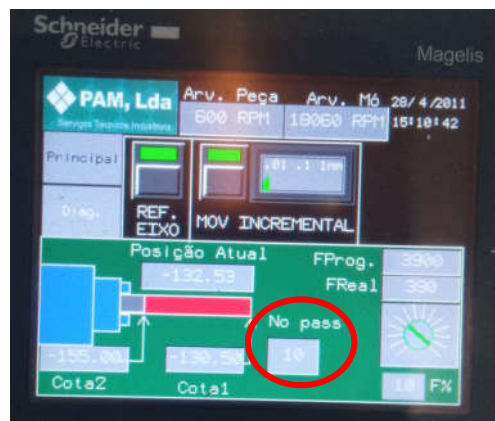


Figura 3.19 – Definição do nº de passagens da ferramenta

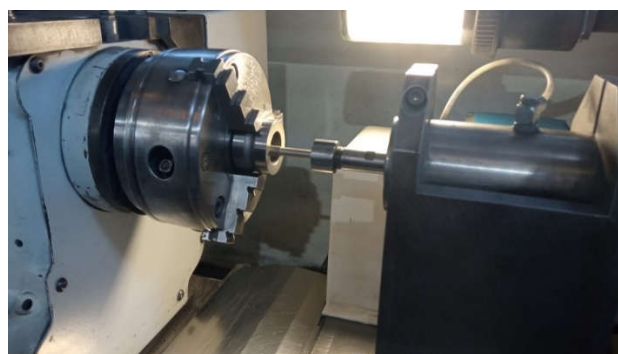


Figura 3.20 – Ferramenta a cortar o furo da matriz

Ao longo do processo, o operador utiliza um calibre passa não passa, para garantir que a cota final está de acordo com o projeto (figura 3.21). Após esta verificação com o passa não passa, a matriz segue para o processo de *honing* que vai ser descrito a seguir.

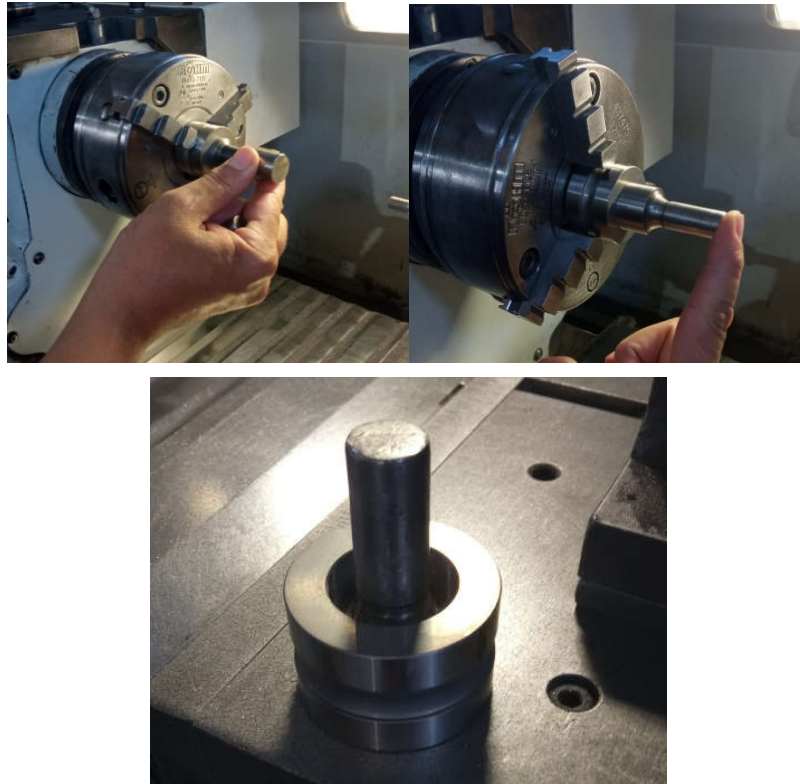


Figura 3.21 – Passa não passa do processo de centrar furos

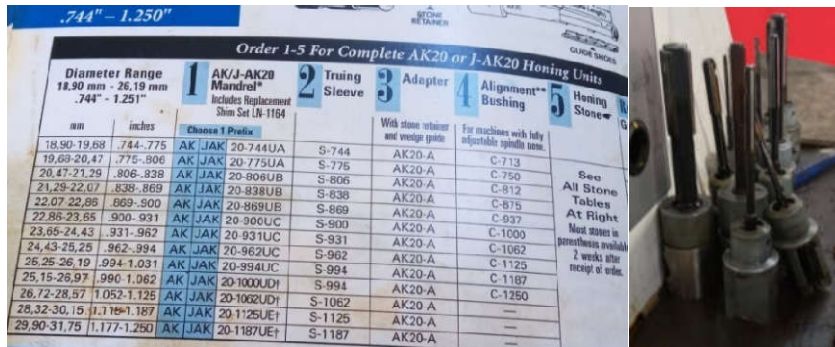
Retificação do diâmetro final dos furos - *Honing*

A operação de *honing* (figura 3.22) é o processo de finalização do furo da matriz para a cota final de trabalho. É um processo que por vezes não é automático e que também só se consegue fazer peça a peça. O tempo de *setup* desta máquina também é grande, cerca de 28min, dependendo da experiência e conhecimento do operador que esteja a manusear esta tecnologia.



Figura 3.22 – Processo de retificação de diâmetros interiores das matrizes para cota final – *honing*

Primeiro procede-se á escolha e seleção do mandril, de acordo com uma listagem existente (figura 3.30) e de acordo com o furo interior da matriz que se quer produzir. Cada mandril (figura 3.23) está preparado para fazer um furo num intervalo de diâmetros e contem três lâminas em nitreto cúbico de boro – CBN (modelo K20)



Diameter Range 18.90 mm - 26.19 mm .744" - 1.251"		1 AK/J-AK20 Mandrel* Includes Replacement Shim Set LH-1184	2 Truing Sleeve	3 Adapter	4 Alignment** Bushing	5 Honing Stone
mm	inches	Choose 1 Prefix		With stone holder and weight gauge	For machines with fully adjustable spindle nose.	
18.90-19.68	.744-.775	AK JAK	20-744UA	S-744	AK20-A	C-713
19.69-20.47	.775-.806	AK JAK	20-775UA	S-775	AK20-A	C-750
20.47-21.25	.806-.838	AK JAK	20-806UB	S-806	AK20-A	C-812
21.25-22.07	.838-.869	AK JAK	20-838UB	S-838	AK20-A	C-875
22.07-22.85	.869-.900	AK JAK	20-869UB	S-869	AK20-A	C-937
22.85-24.43	.900-.931	AK JAK	20-900UC	S-900	AK20-A	C-1000
24.43-25.25	.962-.994	AK JAK	20-962UC	S-931	AK20-A	C-1062
25.25-26.19	.994-1.031	AK JAK	20-994UC	S-962	AK20-A	C-1125
25.15-26.97	.990-1.062	AK JAK	20-1000UD†	S-994	AK20-A	C-1187
26.12-28.57	1.052-1.125	AK JAK	20-1062UD†	S-994	AK20-A	C-1250
26.32-30.15	1.118-1.187	AK JAK	20-1125UE†	S-1062	AK20-A	—
29.90-31.75	1.177-1.250	AK JAK	20-1187UE†	S-1125	AK20-A	—
				S-1187	AK20-A	—

See All Stone
Tables
At Right
Most stones in
parentheses available
2 weeks after
receipt of order.

Figura 3.23 – Escolha e seleção do mandril

A seguir procede-se à montagem do mandril na máquina de honing. Após a montagem do mandril (figura 3.24), centra-se e calibra-se a matriz no mandril com o comparador (figura 3.25). Para finalizar a montagem e calibração da matriz regula-se o curso e a velocidade de trabalho da matriz quando se desloca na pedra do mandril. Todo este processo demora cerca de 28min de tempo de *setup* que foi falado anteriormente.



Figura 3.24 – Colocação do mandril na máquina de honing



Figura 3.25 – Calibração e centrado da matriz no mandril

Depois de toda a preparação da máquina, carrega-se no botão para iniciar a libertação do óleo de refrigeração (HM-2) da máquina e inicia-se o corte do material para obtenção do furo da matriz. Esta operação é feita no sentido vertical em movimentos contínuos para a frente e para trás como demonstra a figura 3.26.



Figura 3.26 – Processo de retificação diâmetro interior – *Oning*

Como pode ser verificado na figura 3.27, o operador vai medindo a peça com um calibre passa não passa, até se verificar que está à cota. Assim que se verifique que está, segue para a próxima operação que é retificar as saídas dos furos das matrizes.



Figura 3.27 – Controle dimensional com calibre passa não passa

Retificação das saídas

Na tecnologia de retificar saídas (figura 3.28), faz-se as saídas dos furos das matrizes, através do desbaste com uma ferramenta que contém uma mó de nitreto cúbico de boro – CBN. Estas mós variam consoante o diâmetro do furo (se for um furo de $\varnothing 9$, utiliza-se uma mó de $\varnothing 8$) e todas as ferramentas são compostas pelo mesmo material. Esta tecnologia é uma tecnologia antiquada, é manual e só se consegue produzir peça a peça.



Figura 3.28 – Processo de retificar matrizes

Em primeiro lugar monta-se a matriz na bucha da máquina que fica do lado esquerdo (figura 3.29). Após a montagem, é feita a calibração dos vários componentes da máquina. Primeiro calibra-se a mó (figura 3.30), de seguida o ângulo de inclinação no lado da bucha, que se pretende para a saída do furo (figura 3.31) e por fim calibra-se a matriz em relação à bucha (figura 3.32), com a máquina em rotação, para garantir uma correta calibração.



Figura 3.29 – Montagem da matriz na bucha

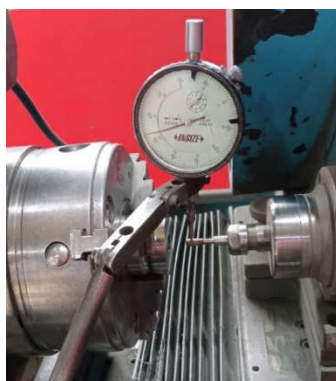


Figura 3.30 – Calibração da mó



Figura 3.31 – Calibração do ângulo de inclinação no lado da bucha



Figura 3.32 – Calibração da matriz

Depois de fazer a calibração de todos os componentes, inicia-se o processo de corte do material. Aproxima-se a mó à peça, com a máquina a trabalhar e quando a mó estiver encostada à peça, vai-se definindo na alavanca que é mostrada na figura 3.33, o posicionamento da bucha da matriz e vai cortando até obtenção da cota final.

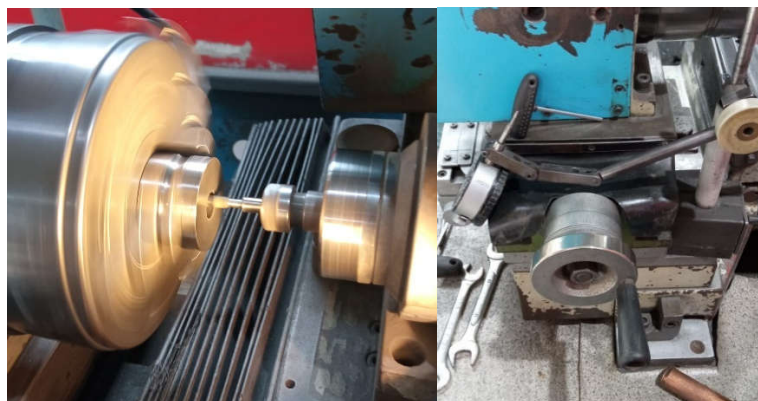


Figura 3.33 – Corte do material (esquerda) e alavanca do lado para movimentar a bucha (direita)

De salientar que este processo é um processo muito manual, pois necessita que o operador faça movimentos contínuos para a esquerda e para a direita através de uma manivela (figura 3.34), que faz a mó mover-se para a frente e para trás para cortar do material.



Figura 3.34 – Manivela de controlo da mó

Neste processo o acabamento final da peça é difícil de mensurar e de controlar, visto não ser um processo automático. É feito visualmente ao longo da operação e no fim faz-se uma medição com o paquímetro. Se estiver em conformidade, segue para a próxima fase do processo, que é efetuar a saída do outro lado da matriz. Nesta fase é efetuar os mesmos passos no outro lado da matriz, mas a partir deste momento, já não é necessário fazer todos os passos de calibração, apenas a calibração da matriz, pois a máquina já se encontra calibrada tanto na mó como no ângulo.

Serralharia – Polimento

Nesta operação vão ser polidas todas as superfícies e este processo é manual e feito através de dois momentos, o interior do furo das matrizes e o exterior das matrizes.

Primeiro aperta-se e centra-se a matriz na bucha. Neste processo é polido o furo da matriz, este polimento é feito com uma polidora rotativa com feltro de polimento. O polimento é feito com sentidos contrários, ou seja, a polidora roda no sentido dos ponteiros do relógio e a bucha no sentido contrário para um corte e desbaste mais eficaz. São feitas várias passagens até se verificar que as superfícies ficam a brilhar e polidas.

De seguida faz-se o polimento das áreas exteriores das matrizes no rolo de polimento e também são feitas “n” passagens até se verificar que as superfícies estão polidas. A figura 3.35 do lado esquerdo mostra o processo com a polidora rotativa e na direita com o rolo de polimento.

A figura 3.36 mostra uma matriz antes e depois de ser polidas.



Figura 3.35 – Polimento do furo (esquerda) e polimento exteriores (direita).



Figura 3.36 – Antes de polimento e depois de polimento

Retificação das alturas finais

Este processo é o último processo de retificação e de fabrico da matriz, na figura 3.37 pode ser vista a máquina de retificação. Neste processo como o nome indica, vão ser feitas as alturas finais da matriz (figura 3.38), retificando nos dois lados.



Figura 3.37 – Tecnologia de retificação para alturas finais

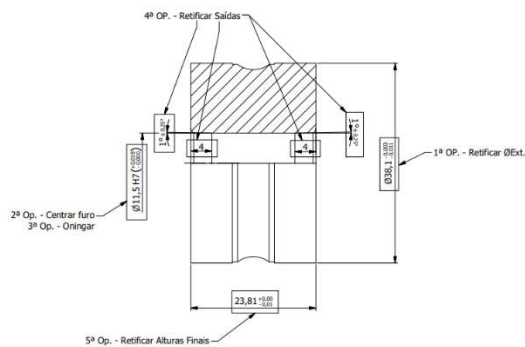


Figura 3.38 – 5ª operação – Retificação de alturas

Em primeiro lugar o operador tem de fazer uma medição à matriz para verificar qual a dimensão que a matriz tem. A retificação é feita em duas fases, a primeira fase num dos lados da matriz e na segunda no outro lado. Após a medição da matriz, o operador limpa a mesa da máquina e prepara-a para a colocação de todas as matrizes. A capacidade da mesa magnética é de sensivelmente 40 a 45 matrizes, dependendo do diâmetro exterior da matriz.

Depois de limpa e preparada, são montadas as matrizes na mesa magnética. Esta montagem tem de ser de forma a que estas não se mexam e que fiquem bem alinhadas (figura 3.39).



Figura 3.39 – Montagem das matrizes na mesa magnética da máquina.

De seguida, é feito o alinhamento da mó com as matrizes (figura 3.40). A mó utilizada é em carboneto de silício – Ø205x150x90. Este alinhamento é feito até a mó encostar nas matrizes. Feito o alinhamento, coloca-se na máquina o que é necessário cortar na primeira fase, que costuma ser, em média, cerca de 0,16mm.



Figura 3.40 – Alinhamento da mó com as matrizes

Na figura 3.41 pode-se verificar o corte na máquina. A mó desloca-se nos sentidos vertical e horizontal. Move-se na horizontal para efetuar o corte e na vertical para abranger a matriz na totalidade.



Figura 3.41 – Corte das matrizes na máquina

Depois de terminar o corte da primeira fase, retiram-se as matrizes e faz-se a medição de 2 ou 3 matrizes (figura 3.42). Desmonta-se e limpa-se a mesa magnética e voltam-se a montar as matrizes do lado contrário ao retificado e seguem-se todos os passos elaborados na primeira fase, montagem e alinhamento das matrizes e da mó com as matrizes.



Figura 3.42 – Medição das matrizes da primeira fase

Executa-se o corte do material excedente na matriz e vai-se acertando até obter a cota final. Neste processo o operador vai retirando uma das matrizes e medindo até à obtenção da cota final desejada (figura 3.43).



Figura 3.43 – Medição final das matrizes

Gravação das matrizes

Após a retificação das alturas, as matrizes vão para a gravação a laser (figura 3.44). Neste posto o operador coloca as matrizes na máquina de gravação a laser e no computador define em detalhe o que vai gravar: o nome da empresa, o número da matriz, número de obra, a forma, o ano de fabrico e o mês (figura 3.45). Na figura 3.46 podemos verificar como as matrizes são gravadas.



Figura 3.44 – Processo de gravação

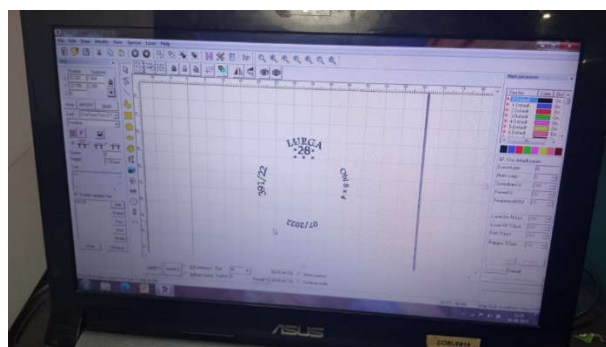


Figura 3.45 – Definição da gravação na matriz



Figura 3.46 – Gravação das matrizes

Depois de gravadas, as matrizes são enviadas para o controle de qualidade, onde irão ser medidas e controladas.

Controle Qualidade

Neste departamento as matrizes são medidas e controladas através dos instrumentos de medida (ver figura 3.47). Em primeiro lugar as matrizes são controladas dimensionalmente nos diâmetros exteriores com um micrómetro digital (figura 3.48). Depois, como demonstra a figura 3.49, são controladas as alturas finais, também com o micrómetro digital e por fim os furos com o micrómetro de interiores (figura 3.50).



Figura 3.47 – Instrumentos de medida do controle qualidade das matrizes



Figura 3.48 – Controlo dimensional dos diâmetros exteriores da matriz com micrómetro digital.



Figura 3.49 – Controlo dimensional das alturas finais da matriz com micrómetro digital.



Figura 3.50 – Controlo dimensional do furo da matriz com micrómetro de interiores.

Todos estes dados retirados dos instrumentos de medida, são inseridos automaticamente numa folha de excel (figura 3.51) e que no fim gera um documento de controle dimensional. Este documento só é finalizado, quando todas as matrizes estiverem em conformidade e validadas. Depois desta validação, o mesmo é enviado ao cliente quando a obra é expedida.

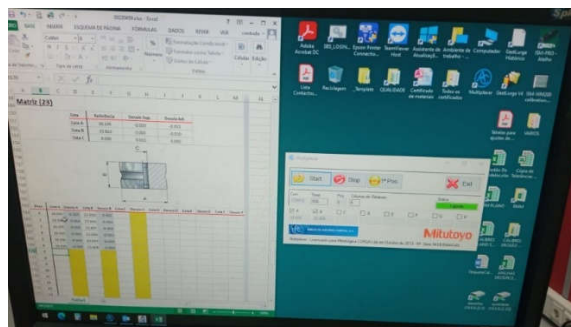


Figura 3.51 – Dados inseridos na folha de excel.

Embalamento e expedição

Depois das matrizes serem controladas dimensionalmente vão para a zona de expedição. As matrizes são lubrificadas com óleo próprio (figura 3.52), embaladas em canudos (figura 3.53),

posteriormente em caixas de papelão (figura 3.54) e expedidas para o cliente.



Figura 3.52 – Matrizes lubrificadas com óleo



Figura 3.53 – Matrizes embaladas em canudos



Figura 3.54 – Embalagem pronta para expedição

Anexo 4

Desenho das matrizes – Eletroerosão a fio

Desenhos de fabrico do processo de eletroerosão a fio das matrizes.

