

---

# Reparação de um molde de injeção de plásticos

---

*Orientador:*

Professor Joaquim SACRAMENTO

*Autores:*

Hugo PINHEIRO, 50776

Nuno BAIONETA, 50250

Samuel HENRIQUES, 43893

Vitor PIRES, 41501

Águeda, 21 de Janeiro de 2013





# Relatório de projeto temático em Tecnologia de Materiais e de Processos

## Reparação de um molde de injeção de plásticos

*Autores:*

Hugo Pinheiro .....

Nuno Baioneta .....

Samuel Henriques .....

Vitor Pires .....

*Orientador:*

Professor Joaquim SACRAMENTO

**3º Ano, 1º Semestre**

**Ano Lectivo 2012/2013**

**ESTGA - Engenharia Eletrotécnica Ramo de Mecatrónica**



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
1.1	Objetivos . . . . .	2
1.1.1	Peça a produzir . . . . .	2
1.2	Funcionamento do molde . . . . .	3
1.3	Polipropileno e plásticos de uso comum . . . . .	5
1.4	Aços do molde - Durezas e microestruturas . . . . .	10
1.4.1	Aços do molde . . . . .	10
1.4.2	Durezas <i>Brinell</i> e <i>Rockwell C</i> . . . . .	11
1.4.3	Preparação das amostras, resultados de dureza e microestruturas . . . . .	12
<b>2</b>	<b>Desenvolvimento do projeto</b>	<b>14</b>
2.1	Desenhos . . . . .	14
2.1.1	Cotas, tolerâncias e ajustamentos . . . . .	14
2.1.2	Desenhos à mão da peça a produzir e da placa deslizante . . . . .	26
2.1.3	Modelação a computador da placa deslizante . . . . .	27
2.2	Maquinação das placas deslizantes . . . . .	40
2.3	Maquinação das cavidades . . . . .	42
2.3.1	Processo de eletroerosão por penetração . . . . .	42
2.3.2	Operação e programação da máquina da ESTGA . . . . .	42
2.3.3	Ensaaios de eletroerosão . . . . .	45
2.3.4	Eletroerosão das cavidades . . . . .	51
<b>3</b>	<b>Conclusões e trabalho futuro</b>	<b>59</b>

# Lista de Figuras

1	Peça original em PP. . . . .	2
2	Peça de PP produzida com rebarbas. . . . .	2
3	Modelo do molde a reparar. . . . .	3
4	Fases de funcionamento do molde: a) fechado; b) aberto. . . . .	4
5	Polímero do polietileno [7]. . . . .	5
6	Distribuição de massa molecular típica num polímero [4]. . . . .	6
7	Arranjos de cadeias num plástico semicristalino [4]. . . . .	7
8	Variação de volume num plástico com a temperatura [4]. . . . .	7
9	Durómetro da ESTGA. . . . .	11
10	Identadores utilizados. . . . .	12
11	Indicador analógico durómetro. . . . .	12
12	Microestruturas do aço 1.1191 aumentada 150x a) e 750x b). . . . .	13
13	Microestruturas do aço 1.2738 aumentada 150x a) e 750x b). . . . .	13
14	Representação do primeiro diedro e das vistas [6]. . . . .	15
15	Projecções da vista principal de uma peça [6]. . . . .	16
16	Explicação da metodologia de corte [6]. . . . .	17
17	Formas de desenhar o tracejado [6]. . . . .	17
18	Tolerâncias fundamentais ISO para peças lisas [6]. . . . .	19
19	Tabelas para desvios de furos e veios [6]. . . . .	20
20	A -Ajustamento com folga; B -Ajustamento com aperto; C -Ajustamento incerto [6]. . . . .	21
21	Ajustamento para "furo normal" [6]. . . . .	21
22	Tolerânciamento geral [6]. . . . .	22
23	Rugosidade [6]. . . . .	23
24	Simbologia básica [6]. . . . .	23
25	Simbologia antiga e moderna [6]. . . . .	23
26	Símbolos de orientação das estrias dos processos de maquinação [6]. . . . .	24
27	Desenho da placa deslizante. . . . .	24
28	Desenho à mão da peça em PP. . . . .	26
29	Desenho à mão da placa deslizante. . . . .	27
30	<i>Inventor</i> - Placa deslizante . . . . .	27
31	<i>Inventor</i> - Interface gráfica do <i>Inventor</i> . . . . .	28
32	<i>Inventor</i> - Novo objeto - <i>Inventor</i> . . . . .	28
33	<i>Inventor</i> - Ficheiro .ipt em branco . . . . .	28
34	<i>Inventor</i> - <i>Finish sketch</i> da secção retangular . . . . .	29
35	<i>Inventor</i> - Extrusão da secção retangular . . . . .	29
36	<i>Inventor</i> - <i>ring</i> menu . . . . .	29
37	<i>Inventor</i> - <i>sketch 2</i> . . . . .	30
38	<i>Inventor</i> - Perfil do <i>sketch2</i> . . . . .	30
39	<i>Inventor</i> - Segunda extrusão . . . . .	30
40	<i>Inventor</i> - Placa deslizante após 3 <i>extrude</i> . . . . .	31
41	<i>Inventor</i> - <i>Draft</i> aplicado à placa . . . . .	31
42	<i>Inventor</i> - Criação dos rasgos na placa - 1 . . . . .	31
43	<i>Inventor</i> - Criação dos rasgos na placa - 2 . . . . .	32
44	<i>Inventor</i> - <i>Offset from plane</i> . . . . .	32
45	<i>Inventor</i> - Percurso do plano . . . . .	32

46	<i>Inventor</i> - Percurso do plano - 2 . . . . .	33
47	<i>Inventor</i> - <i>New sketch</i> . . . . .	33
48	<i>Inventor</i> - Perfil . . . . .	33
49	<i>Inventor</i> - Desenho da alheta . . . . .	33
50	<i>Inventor</i> - Resultado da alheta . . . . .	34
51	<i>Inventor</i> - <i>Rectangular pattern</i> - 1 . . . . .	34
52	<i>Inventor</i> - <i>Rectangular pattern</i> - 2 . . . . .	34
53	<i>Inventor</i> - <i>Rectangular pattern</i> - 3 . . . . .	35
54	<i>Inventor</i> - Cavidade completa . . . . .	35
55	<i>Inventor</i> - Segunda cavidade . . . . .	35
56	<i>Inventor</i> - Rasgos e furos nas placas - 1 . . . . .	36
57	<i>Inventor</i> - Rasgos e furos nas placas - 2 . . . . .	36
58	<i>Inventor</i> - Rasgos e furos nas placas - 3 . . . . .	36
59	<i>Inventor</i> - Rasgos e furos nas placas - 4 . . . . .	36
60	<i>Inventor</i> - <i>Sketch</i> para furos inclinados . . . . .	37
61	<i>Inventor</i> - Opções disponíveis na ferramenta plane . . . . .	37
62	<i>Inventor</i> - <i>Angle to Plane Around Edge</i> . . . . .	37
63	<i>Inventor</i> - Desenho de um furo inclinado - 1 . . . . .	38
64	<i>Inventor</i> - Desenho de um furo inclinado - 2 . . . . .	38
65	<i>Inventor</i> - Criação de um plano ao centro da peça . . . . .	38
66	<i>Inventor</i> - Plano de simetria . . . . .	39
67	<i>Inventor</i> - Função <i>mirror</i> . . . . .	39
68	<i>Inventor</i> - Desenho final da placa deslizante . . . . .	39
69	Modelos da conformação da placa deslizante. . . . .	40
70	Máquina de eletroerosão da ESTGA. . . . .	42
71	Programa tipo para realização de eletroerosão. . . . .	44
72	Resultados dos ensaios preliminares. . . . .	47
73	Resultado do ensaio com profundidade de 5 mm. . . . .	49
74	Cavidade obtida no ensaio de acabamento uniforme. . . . .	51
75	Modelo do elétron de cobre para erodir as alhetas nas cavidades. . . . .	52
76	Fresa com o perfil adequado para maquinar as alhetas no elétron de cobre. . . . .	52
77	Comparação entre a pastilha usada e a peça de plástico. . . . .	53
78	Elétronos maquinados. . . . .	54
79	Ensaio com o elétron 1: a)cavidade; b)Polímero moldado pela cavidade. . . . .	55
80	Bloco para ensaio de erosão de 2 cavidades. . . . .	56
81	Resultados do ensaio de erosão com o elétron 2: a)Cavidade resultante; b)Peça moldada pela cavidade. . . . .	56
82	Coordenadas das cavidades para posicionamento do elétron. . . . .	57
83	Resultado da erosão das cavidades nas placas deslizantes. . . . .	57

# Lista de Tabelas

1	Componentes do molde. . . . .	3
2	Unidades repetitivas de alguns plásticos[7, 9]. . . . .	6
3	Gamas de temperaturas associadas a alguns plásticos [4, 9]. . . . .	8
4	Contração de alguns termoplásticos [4, 9]. . . . .	8
5	Caraterísticas gerais dos aços 1.2738 e 1.1191. . . . .	10
6	Composição química dos aços 1.2738 e 1.1191. . . . .	10
7	Durezas HB e HRC obtidas e indicadas pelo fornecedor. . . . .	13
8	Normas aplicáveis [6]. . . . .	14
9	Classes de qualidade e sua utilização. . . . .	19
10	Sequência operatória de fabricação da placa deslizante. . . . .	40
11	Características operacionais da máquina de eletroerosão da ESTGA. . . . .	43
12	Intensidade de corrente em função das dimensões dos elétrodos [1]. . . . .	43
13	Medidas do elétrodo utilizado nos ensaios de acabamento. . . . .	45
14	Ensaio 1 - acabamento rugoso. . . . .	46
15	Ensaio 2 - acabamento médio. . . . .	46
16	Ensaio 2 - acabamento ultrafino. . . . .	46
17	Resultados dos ensaios realizados. . . . .	47
18	Programa de desbaste no ensaio em profundidade. . . . .	48
19	Programa de acabamento no ensaio em profundidade. . . . .	48
20	GAP do ensaio com maior profundidade. . . . .	49
21	Medidas iniciais do elétrodo para o ensaio de acabamento uniforme. . . . .	50
22	Programa de desbaste para o ensaio de acabamento uniforme. . . . .	50
23	Programa utilizado para o acabamento no ensaio de acabamento uniforme. . . . .	50
24	Plano de fabrico do elétrodo de cobre com alhetas. . . . .	53
25	Cotas dos elétrodos 1 e 2. . . . .	54
26	Programa de erosão das cavidades com alhetas. . . . .	55
27	Cotas do eletrodo no inicio e fim da erosão. . . . .	57
28	Dados sobre a eletroerosão. . . . .	58

# 1. Introdução

No âmbito do projeto temático em Tecnologia de Materiais e Processos, foi proposto que se reparasse um molde para injeção de plásticos. Este relatório apresenta a evolução do trabalho executado ao longo do semestre, para reparação do molde.

## 1.1 Objetivos

O objetivo deste projeto é reparar um molde para injeção de plásticos produzido num dos projetos anteriores cujas peças de plástico em polipropileno (PP) apresentam rebarbas no seu exterior.

O molde deverá produzir peças em polipropileno, sem defeitos, e de acordo com as dimensões e pretendidas.

### 1.1.1 Peça a produzir

A figura 1 mostra uma amostra da peça original que deve ser produzida pelo molde. Esta peça foi produzida em PP e não tem defeitos visíveis.



Figura 1: Peça original em PP.

A figura 2 mostra a peça produzida pelo molde que foi fabricado. As peças apresentam rebarbas de plástico.



Figura 2: Peça de PP produzida com rebarbas.

## 1.2 Funcionamento do molde

Para compreender e reparar os defeitos das peças é primeiro necessário saber quais são os diversos componentes que constituem o molde, bem como o seu funcionamento para depois se avaliar a origem dos defeitos. A figura 3 mostra um modelo do molde e a tabela 1 mostra os seus componentes.

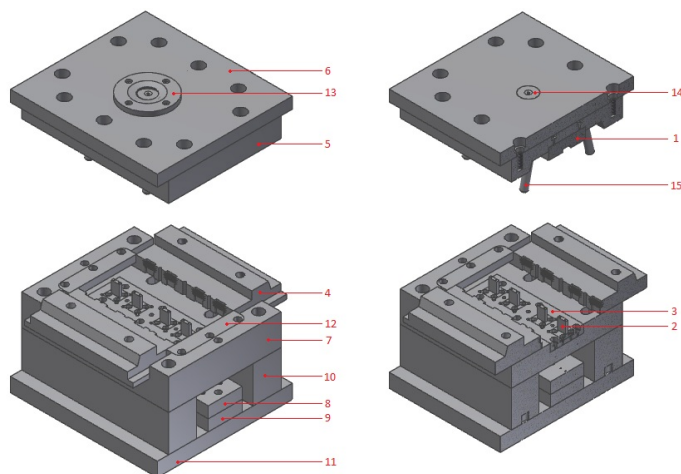


Figura 3: Modelo do molde a reparar.

Tabela 1: Componentes do molde.

Componente	Nome
1	Placa moldante
2	Machos
3	Placa de suporte de pinos amovíveis
4	Placa deslizante
5	Placa de base do molde
6	Placa de aperto da injeção
7	Bloco de acoplamento
8	Placa de suporte dos extratores
9	Placa de aperto dos extratores
10	Calço lateral do molde
11	Bloco extrator de aperto à máquina
12	Régua de bronze
13	Suporte do jito
14	Bico injetor
15	Pernas de cão



Na figura 4a o molde encontra-se fechado. Nesta fase é injetado o plástico (no estado líquido) para o interior do molde pelo bico injector. Este plástico depois é guiado pelos canais existentes na placa moldante para as diversas cavidades do molde. Após as cavidades serem preenchidas de plástico e dado o tempo necessário para o plástico solidificar e arrefecer até uma temperatura próxima da temperatura ambiente, o molde encontra-se pronto a ser aberto.

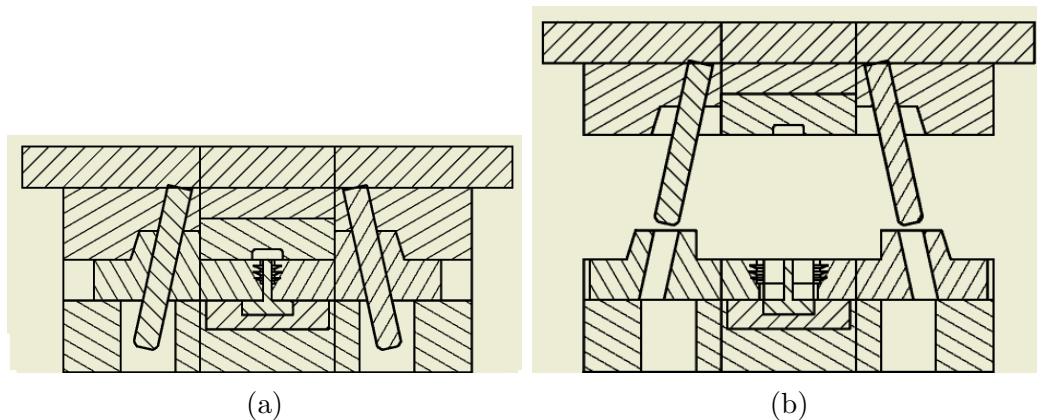


Figura 4: Fases de funcionamento do molde: a) fechado; b) aberto.

A abertura do molde é feita por dois movimentos, dada a complexidade da peça moldada. Caso não tivesse os dois movimentos, a extração da peça não seria possível. O primeiro movimento é a abertura do molde: a placa moldante e todo o bloco injeção do molde ao qual a placa moldante se encontra aparafusada, afasta-se das restantes partes do molde. Neste movimento, as peças recém moldadas são separadas do plástico que solidificou nos canais de alimentação existentes na placa moldante. Em simultâneo com este movimento, as guias inclinadas obrigam o segundo movimento a ocorrer. Este movimento consiste nas guias inclinadas a obrigarem as duas placas deslizantes a separarem-se gradualmente, acabando afastadas o suficiente para que as peças possam ser ejetadas. A posição final das diversas partes do molde pode ser observada na figura 4b.

Após abertura do molde, ocorre a extração das peças moldadas. A máquina obriga aos extratores a avançar e empurrar as peças para fora dos machos, caindo para fora do molde. A seguir a este movimento, o recuo dos extratores é efetuado por uma mola.

Após a extração ter ocorrido, o molde volta a ser fechado, pelo processo inverso ao de abertura. As guias inclinadas, obrigam as placas deslizantes a aproximarem-se em simultâneo que o bloco de extração do molde se aproxima do bloco de injeção até o molde se encontrar completamente fechado. O aperto das placas deslizantes é garantido pela placa da base do molde de tal forma a que não existam fugas de plástico por entre as placas deslizantes e não haja aparecimento de rebarbas na peça. Estando o molde completamente fechado, pode ser mais plástico injetado para o molde, iniciando-se mais um ciclo de injeção.

De acordo com o funcionamento do molde explicado antes e o posicionamento das rebarbas existente nas peças, as possibilidades para a ocorrência destes defeitos achou-se que poderiam ser as seguintes:

1. Folgas entre as corredeiras e os machos.
2. As faces de contacto das placas deslizantes não estarem completamente planas e não assegurarem o fecho durante a injeção.

Decidiu-se construir novas placas deslizantes para tentar eliminar os defeitos. A reparação das placas deslizantes do molde poderia levar à redução das cotas e a consequente diminuição do aperto destas placas quando o molde fechasse.

## 1.3 Polipropileno e plásticos de uso comum

Neste trabalho tem importância conhecer algumas características gerais do polipropileno (PP) sobretudo o seu comportamento com a temperatura, porque vai ser injetado no estado líquido e vai contrair durante o arrefecimento. A contração do PP é importante e vai ser usada para dimensionar as cavidades moldantes. A apresentação do comportamento do PP faz-se em conjunto com plásticos de uso comum.

O PP é um plástico da classe dos termoplásticos. É um dos plásticos mais importantes porque pode ser fabricado a partir de matérias-primas petroquímicas baratas [4, 9].

Os plásticos são um grupo variado de materiais sintéticos de imensa importância industrial. Apresentam densidades mais baixas que os metais e a sua conformação é relativamente mais simples por enformação ou moldagem. Este grupo engloba muitos tipos de plásticos, entre os quais o polietileno e o polipropileno [9].

Existem duas diferentes categorias em que os plásticos podem ser classificados - termoplásticos e termoendurecíveis - sendo que os primeiros podem ser aquecidos, enformados e arrefecidos sem que se alterem as suas propriedades de um modo destrutivo. Este processo pode ser repetitivo, o que permite a reciclagem deste tipo de plásticos.

Os plásticos são constituídos, principalmente, por grandes cadeias de átomos de carbono ligados por ligações covalente [4, 9], denominadas polímeros ou macromoléculas. Estas cadeias ligam-se entre si por ligações fracas que podem ser por pontes de hidrogénio, entrelaçamento ou ligações de Van der Waals.

Na figura 5 apresenta-se a cadeia molecular do polietileno, um termoplástico.

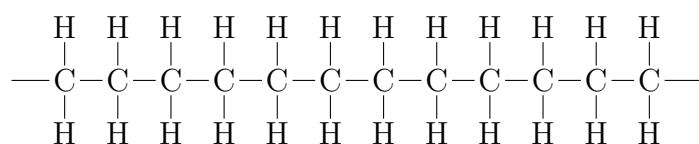


Figura 5: Polímero do polietileno [7].

Por esta cadeia ser repetitiva, é frequente caracterizar um termoplástico pela sua unidade repetitiva da cadeia, o *mero*. Na tabela 2 apresentam-se os meros para alguns termoplásticos frequentemente utilizados na indústria.

Tabela 2: Unidades repetitivas de alguns plásticos[7, 9].

PP	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	PS	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$
PE	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	PVC	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$
PMMA (acrílico)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{H} \end{array}$		

Ao passar do polietileno, o plástico mais simples quimicamente, para o PP, a introdução de um grupo de CH<sub>3</sub> em substituição de um átomo de hidrogénio resulta num material mais resistente mecanicamente mas menos flexível [4, 9].

As cadeias poliméricas têm tamanho e peso molecular variável, o que leva a que estas características sejam frequentemente apresentadas na forma de curvas de distribuição. Estas variáveis têm forte influência nas propriedades do plástico. Na figura 6 está representada uma curva de distribuição típica de massas moleculares de um material polimérico [4].

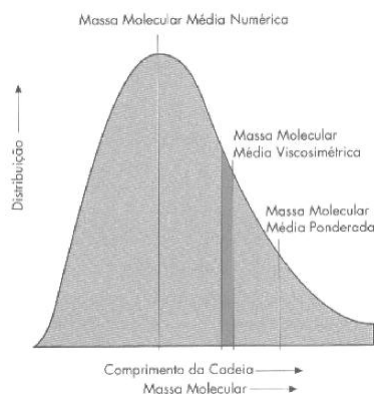


Figura 6: Distribuição de massa molecular típica num polímero [4].

Para a injeção que a distribuição das cadeias seja estreita para que o plástico funda rapidamente e num intervalo estreito de temperatura e solidifiquem também rapidamente para que o ciclo de injeção seja curto. Assim, um termoplástico não tem uma massa molecular fixa, como por exemplo a água.

Um termoplástico pode ser caracterizado, consoante a organização das suas cadeias moleculares, em cristalino (com arranjo organizado das cadeias), amorfo (sem arranjo) ou semicristalino (onde coexistem zonas cristalinas e amorfas). A figura 7 mostra um esquema de uma estrutura semicristalina, onde se pode observar os diferentes tipos de arranjos.

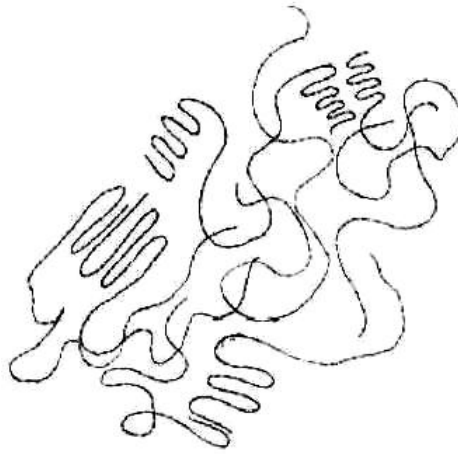


Figura 7: Arranjos de cadeias num plástico semicristalino [4].

O arranjo das cadeias num termoplástico afeta o seu comportamento com a temperatura e, como consequência, a sua utilização e processamento, por exemplo, na injeção. A figura 8 mostra a variação de volume com a temperatura nos termoplásticos, que permite determinar os pontos  $T_g$  e  $T_m$ .

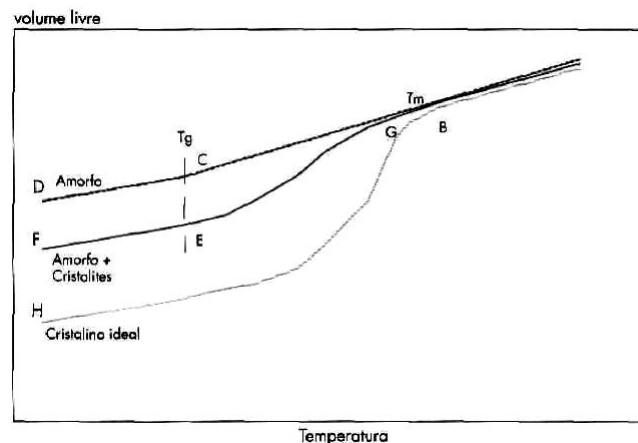


Figura 8: Variação de volume num plástico com a temperatura [4].

Estas temperaturas marcadas na figura, correspondem à temperatura de transição vítrea e temperatura de fusão do termoplástico.

A temperatura de  $T_g$  é caracterizada pelo aumento da mobilidade das cadeias amorfas, notando-se um amolecimento do plástico. Abaixo desta temperatura o termoplástico é rígido e acima flexível. Existem plásticos que têm  $T_g$  abaixo da temperatura ambiente, que têm um comportamento flexível, ao contrário dos que têm  $T_g$  acima da temperatura ambiente, que são rígidos e frágeis. Nestes termoplásticos amorfos não é perceptível a passagem pela temperatura de fusão ( $T_m$ ) porque as macromoléculas vão ganhando liberdade para se movimentarem com a temperatura.

Nos termoplásticos cristalinos as ligações entre cadeias moleculares rompem à temperatura de fusão. Um termoplástico cristalino não tem  $T_g$  mas tem  $T_m$ , um semicristalino tem as duas temperaturas.

A tabela 3 apresenta as temperaturas  $T_g$  e  $T_m$ , bem como as temperaturas de injeção, de alguns termoplásticos.

Segundo esta tabela, o PP é um plástico flexível à temperatura ambiente. Associada às variações de temperatura na injeção está a contração percentual do termoplástico, que de-

Tabela 3: Gamas de temperaturas associadas a alguns plásticos [4, 9].

Termoplástico	T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	T de injeção(°C)
PE	-90 a -25	98 a 115	160 a 260
PP	-25 a -20	160 a 180	220 a 280

pende do tipo de plástico. A tabela 4 mostra os valores de contração percentual para alguns termoplásticos, entre os quais se apresenta a do PP (1 a 2%)

Tabela 4: Contração de alguns termoplásticos [4, 9].

Termoplástico	Contração (%)
PP	1 a 2
PE	1.5 a 3
PC	0.5 a 0.7

Para além dos polímeros, na formulação dos termoplásticos usados na indústria são utilizados, usualmente, aditivos que lhes conferem outras características que não possuem originalmente. Os aditivos e as suas funções são as seguintes:

- Lubrificantes: facilitar moldagem e obter superfícies lisas e brilhantes.
- Plastificantes: aumentar flexibilidade e reduzir fragilidade.
- Estabilizadores: evitar o envelhecimento do plástico.
- Antioxidantes: evitar oxidação das cadeias poliméricas.
- Ignífugantes: retardar a combustão ou conferir extingüibilidade.
- Anti-estáticos: dissipar energia eletrostática.
- Desmoldantes: facilitar a separação da peça do molde.
- Pigmentos: conferir cor ao plástico.
- Cargas: tornar o plástico mais barato.
- Agentes de reforço: melhorar propriedades mecânicas do plástico (fibras de vidro, fibras de carbono).

A outra classe dos plásticos é a classe dos termoendurecíveis. Os termoendurecíveis possuem ligações covalentes cruzadas entre cadeias, obtidas num processo de *cura* do plástico. Estas ligações fazem com que estes plásticos não tenham um estado amolecido e que, quando são aquecidos a altas temperaturas, se degradar, o que não permite a sua reciclagem.

Um dos exemplos mais comum da utilização desta classe de plásticos é nas tomadas elétricas, em que não é desejável que a tomada amoleça com o calor.

O PP tem uma boa resistência química, à humidade e ao calor, baixa densidade (0,90 a 0,91) e estabilidade dimensional [9]. As suas principais aplicações são os utensílios domésticos e embalagens [4, 9].

O reforço com fibras curtas (dimensões de alguns milímetros) aumentam a resistência e a rigidez do PP. Na grande maioria dos casos o reforço é fibra de vidro [4, 9]. Este tipo de materiais utilizam-se em aplicações estruturais como revestimento de ventiladores de automóveis e tubagens de aquecimento [4, 9].

## 1.4 Aços do molde - Durezas e microestruturas

Nos moldes de injeção de plástico podem ser usados vários aços. Os aços usados para as placas das zonas moldantes devem ter as seguintes características [5, 10].

1. Boa maquinabilidade;
2. Deformações mínimas nos tratamentos térmicos;
3. Facilidade de polimento;
4. Grande resistência à compressão e ao desgaste;
5. Em alguns casos boa resistência à corrosão.

### 1.4.1 Aços do molde

O aço em que foi construído este molde originalmente foi o 1.1191 que é o F10 do fornecedor de aços F. Ramada [5].

Nas placas das zonas moldantes do projeto atual usou-se o aço PM300 (1.2738) também do mesmo fornecedor. Este aço é pré-tratado e usado em moldes de aço para injeção de plásticos e compressão. O aço 1.1191 é um aço-carbono usado, por vezes, em placas de aperto dos moldes às máquinas de injeção. As características gerais destes aços estão na tabela 5 e a sua composição química na tabela 6.

Tabela 5: Características gerais dos aços 1.2738 e 1.1191.

W. Nr°	Cores de identificação	Estado de fornecimento	Dureza de fornecimento (HB)
1.2738	Laranja – Amarelo – Laranja	Tratado	240/330
1.1191	Branco	Recozido	207

Tabela 6: Composição química dos aços 1.2738 e 1.1191.

Aço	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)
1.2738	0,37	0,30	1,40	2,00	0,20	1,00
1.1191	0,45	≤0,40	0,65	-	-	-

O aço 1.2738 é fornecido e usado no estado pré-tratado tendo já sofrido um tratamento térmico de têmpera e revenido quando chega ao utilizador. O aço 1.1191 é fornecido recozido que é um estado macio. A dureza destes aços e a sua microestrutura foram analisadas. As durezas medidas foram a *Brinell* e a dureza *Rockwell C* [2, 5], para controlar, sobretudo, a dureza das placas fornecidas para o projeto. A dureza do aço 1.1191 foi medida para comparação com a dureza do aço pré-tratado e para entender quais são as durezas envolvidas nestes estados de fornecimento. Também se achou importante relacionar a dureza dos aços com a sua microestrutura.

### 1.4.2 Durezas *Brinell* e *Rockwell C*

A dureza *Brinell* e *Rockwell C* medem-se por penetração com um indentador na superfície da amostra à custa de uma carga aplicada, usando um durómetro para o efeito.

O ensaio de dureza *Brinell* (HB) é realizado com um indentador esférico de aço ou metal duro de diâmetro **D**, uma carga aplicada **P** que dão origem a uma calote esférica de diâmetro **d** na superfície da amostra. A dureza HB é calculada pela equação 1 [2, 9]:

$$HB = \frac{2P}{\pi * D * (D - \sqrt{(D^2 - d^2)})} \left( \frac{Kgf}{mm^2} \right) \quad (1)$$

Para se obterem resultados comparáveis de *Brinell* a relação  $\frac{P}{D^2}$  deve ser igual a uma constante **K** que para os aços é igual a 30. A esfera para indentar é de aço tratado, para medir durezas até 450 HB, e de metal duro, para 450-650HB.

Este ensaio pode ser aplicado para medir durezas de aços macios a duros e outros metais [2, 9].

As durezas HB foram medidas com uma esfera de aço com D=2,5mm e uma carga de 187,5 kgf. O diâmetro **d** das calotes foi medido no microscópio ótico da ESTGA, marca *Zeist*, objetiva de 10x, usando uma escala de 1mm (menor divisão 0,01mm).

A imagem 9 mostra o durómetro da ESTGA, marca *Centaur*, modelo RB2, e a figura 10a o indentador utilizado.



Figura 9: Durómetro da ESTGA.

O ensaio de dureza *Rockwell C* (HRC) é muito usado para controlar as durezas de aços, desde macios até duros, resultantes de têmpera e revenidos [9, 2]. O indentador é um cone de diamante com 120°, representado na figura 10b e a carga aplicada é de 150 Kgf.





(a) Identador HB.



(b) Identador HRC.

Figura 10: Identadores utilizados.

A dureza que se mede neste ensaio é relacionada com a profundidade da penetração [9, 2] e lê-se diretamente no durómetro, no indicador analógico da figura 11.



Figura 11: Indicador analógico durómetro.

### 1.4.3 Preparação das amostras, resultados de dureza e microestruturas

Para medição das durezas e das microestruturas, foram cortadas amostras cilíndricas de varões dos respectivos aços. Após retificação das faces das amostras, fez-se um desbaste da superfície com lixas de carboneto de silício por ordem decrescente de granometria do abrasivo (P180 a P1200). O desbaste foi feito com água, nas polidoras de pratos rotativos, para lubrificar e arrefecer as amostras durante o desbaste. A seguir foram polidas com pasta de diamante  $7\mu m$ , nas mesmas polidoras, usando um pano especial de polimento e petróleo como lubrificante, para ajudar a dispersar o diamante, durante o polimento.

O desbaste e o polimento tem como objetivo eliminar os riscos da superfície até obter uma superfície polida sem riscos para que se possa observar no microscópio [8].

Após desbaste e polimento, as amostras foram limpas com água e álcool. As durezas foram medidas nestas superfícies.

Medida a dureza, as superfícies polidas foram em seguida atacadas quimicamente com uma solução para ataque químico chamada Nital [8]. Este ataque químico é recomendado para estes aços, e é constituído por ácido nítrico e álcool etílico a 2%. As amostras foram atacadas durante cerca de 2-3 minutos até se poderem observar e interpretar as microestruturas no microscópio ótico da ESTGA. As microestruturas foram fotografadas com uma ampliação de 150 e 750x na Durit, pelo orientador do projeto. A interpretação das microestruturas em termos de fases constituintes foi feita com a ajuda do orientador do projeto, comparando com fotografias da bibliografia [8, 9].

Na tabela 7 apresentam-se as durezas obtidas e as indicadas pelo fornecedor.

Tabela 7: Durezas HB e HRC obtidas e indicadas pelo fornecedor.

Aço	HB Fornecedor	HB medido	HRC Fornecedor	HRC medido
1.1191	207	180	-	-
1.2738	313	300	-	31

A microestrutura do aço 1.1191 está na figura 12.

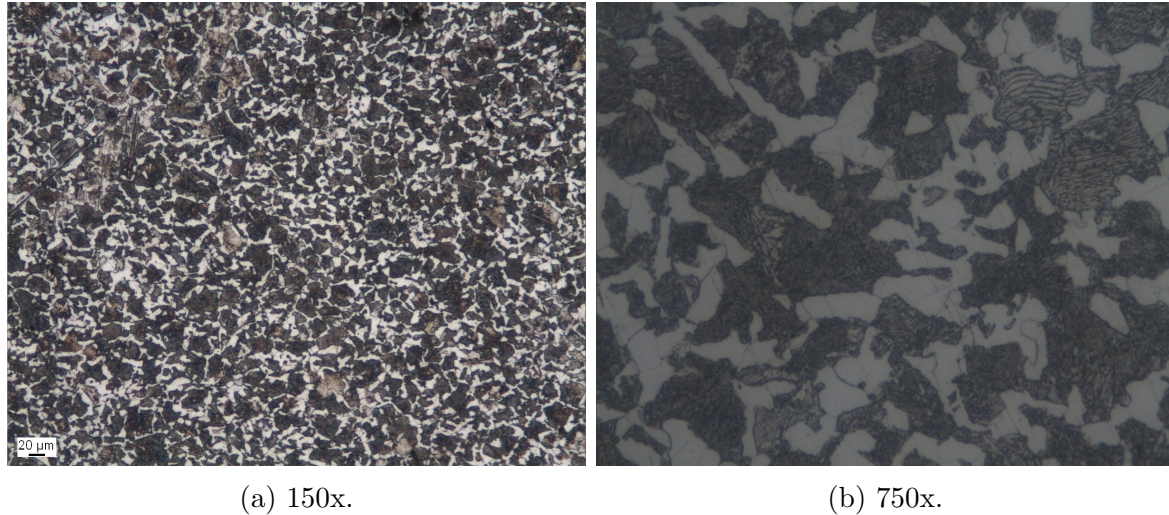


Figura 12: Microestruturas do aço 1.1191 aumentada 150x a) e 750x b).

Esta microestrutura é regular e apresenta duas zonas: uma zona clara – ferrite – e uma zona escura – perlite. A perlite é uma mistura de duas fases em lamelas alternadas – cementite ( $Fe_3C$ ) e ferrite. Esta microestrutura é típica de um aço recozido. A dureza medida HB concorda com o estado recozido macio deste aço.

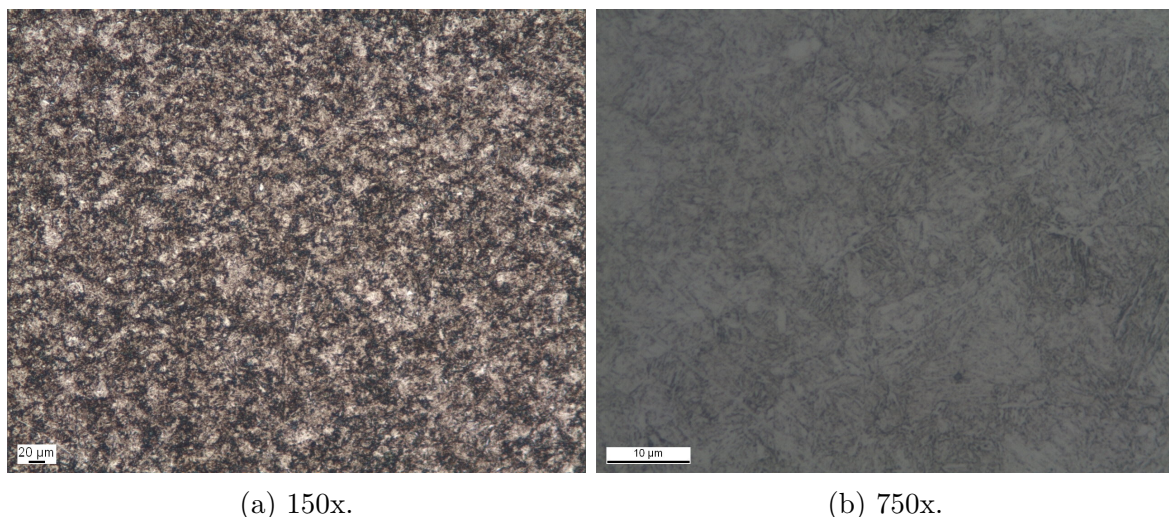


Figura 13: Microestruturas do aço 1.2738 aumentada 150x a) e 750x b).

A figura 13 mostra as microestruturas do aço 1.2738.

O aço 1.2738 é constituída por martensite que é a fase dura que resulta dos tratamentos térmicos de têmpera e revenido. As durezas medidas (HB e HRC) são características de aços semi-duros constituídos por martensite. Daí a designação de aços pré-tratados.

## 2. Desenvolvimento do projeto

### 2.1 Desenhos

Neste projeto, mediram-se as placas deslizantes e construíram-se, em primeiro lugar, esboços destas placas. A seguir, tendo em atenção algumas regras de desenho técnico, foram feitos os desenhos manuais destas placas. Como um dos elementos do grupo já tinha conhecimentos de desenho, usando um software de desenho (*Inventor*), a seguir desenharam-se as placas em computador. Este exercício foi seguido por todos os restantes elementos do grupo. O seguimento do trabalho de desenho apresenta-se neste relatório.

Para se poder realizar um bom desenho técnico e necessário compreender vários conceitos importantes, como as vistas, cotagens e tolerânciamentos. Estes conceitos serão abordados e explicados de seguida no relatório para ajudar a executar os desenhos envolvidos no projeto.

#### 2.1.1 Cotas, tolerâncias e ajustamentos

O Desenho técnico tem como o objetivo a representação gráfica de objetos de forma exata e completa para que não haja equívocos. O Desenho técnico é caracterizado por um conjunto de regras e normas que visam sistematizar estas representações.

Este capítulo baseia-se nos fundamentos teóricos de livros da especialidade [6, 3].

#### Normas aplicáveis

As normas são um conjunto de regras e princípios aceites e usados internacionalmente, ou, em alguns casos aceites num determinado país ou indústria. Têm como objetivo padronizar atividades, que no caso do desenho técnico, permitem às pessoas envolvidas interpretar e lerem corretamente os desenhos. No caso da indústria Portuguesa as normas seguidas são as normas ISO, que se apresentam na tabela 8.

Tabela 8: Normas aplicáveis [6].

Norma	Ano	Assunto	Normas portuguesas
ISO 128:	1982	Princípios gerais de representação	62 327 328 671
ISO 129:	1985	Cotagem	297
ISO 406:	1987	Inscrição de tolerâncias dimensionais	406
ISO 1101:	1983	Inscrição de tolerâncias geométricas	976
ISO 1302:	1978	Inscrição de estados de superfície	
ISO 1660:	1987	Cotagem de perfis	
ISO 2162:	1973	Representação de molas	1065
ISO 2203:	1973	Representação de engrenagens	
ISO 3040:	1974	Cotagem de elementos cónicos	716
ISO 9098-1:	1974	Escrita-Caracteres correntes	89
ISO 3511:	1977	Simbolos na regulação de processos industriais	
ISO 3753:	1977	Simbolos na técnica do vazio	
ISO 3952:	1981	Simbolos e esquemas cinemáticos	
ISO 4063:	1983	Simbolos para procedimentos de soldadura	
ISO 5261:	1981	Desenho de construções metálicas	
ISO 5455:	1979	Escalas	717
ISO 5457:	1980	Formatos e elementos gráficos de folhas	17 48 718
ISO 5459:	1981	Tolerâncias geométricas-referencias	
ISO 6410:	1981	Representação de roscas	1006
ISO 6411:	1982	Representação de furos de centros	
ISO 6414:	1982	Desenho de vidraria	
ISO 6428:	1982	Micrografia	
ISO 6433:	1981	Referencia dos elementos	
ISO		Dobragem de folhas	49
ISO 7083:	1983	Dimensões dos simbolos para tolerâncias geométricas	204
ISO 7200:	1984	Legendas	205
ISO 7573:	1983	Nomenclatura- Lista de peças	

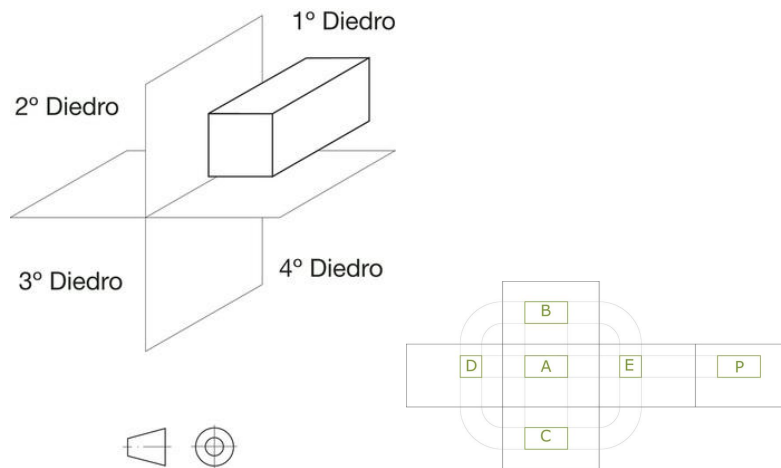


Figura 14: Representação do primeiro diedro e das vistas [6].

### Projeções e vistas

As vistas são as projeções de um objeto obtidas a partir de observadores, perpendiculares ao plano de projeção, situados no infinito. A representação das vistas de um dado objeto é feita segundo vários métodos, sendo os mais utilizados o método do primeiro diedro e o método do terceiro diedro. O primeiro método corresponde ao método europeu e o segundo ao americano. Neste projeto só foi utilizado o método do primeiro diedro, o qual será explorado de seguida. No método do primeiro diedro ou método Europeu é possível a representação de seis projeções de um objeto, de acordo com o que se mostra na figura 14, definidas por:

1. Vista frontal (A), desenhada na parte posterior do cubo;
2. Vista inferior (B), desenhada na face superior do cubo;
3. Vista superior (C), desenhada na parte inferior do cubo;
4. Vista direita (D), desenhada na face esquerda do cubo;
5. Vista esquerda (E), desenhada na face direita do cubo;
6. Vista posterior (P), desenhada na face anterior do cubo.

Para um desenho correto no primeiro diedro é importante a seleção correta da vista principal devendo ter-se em consideração os seguintes parâmetros:

- **Posição de serviço** - posição em que a peça se encontra no conjunto a que pertence e qual a forma como trabalha.
- **Vista mais esclarecedora** - vista que melhor esclarece a peça, isto é, a vista que fornece mais indicações sobre a forma do objeto.
- **Posição de fabrico** - posição mais indicada para a sua fabricação.

Para representação completa do objeto geralmente não são necessárias mais de duas vistas se forem bem escolhidas, podendo estas vistas ser parciais. As vistas parciais são usadas para se conseguir uma poupança no tempo consumido durante a realização de um desenho. Estas vistas não podem prejudicar a clareza do desenho. Podem considerar-se as seguintes vistas parciais:

- **Meia vista** - usada para a representação de peças simétricas, limitada por uma linha de simetria, que contém, na sua extremidade, duas pequenas linhas paralelas.

- **Vista parcial** - usada para definir a forma de uma certa zona de uma peça, que não se encontra esclarecida noutras vistas.
- **Vistas interrompidas** - usadas para peças compridas e uniformes, que podem ser representadas retirando grandes porções uniformes que não prejudicam a leitura do desenho.

Podem-se incluir ainda no desenho, vistas auxiliares que permitem mostrar a forma real das faces inclinadas das peças. Estas vistas auxiliares também são usadas para:

- Permitir esclarecer a cotação correta dos elementos inclinados das peças;
- Permitir o traçado de um ângulo de um determinado valor, sendo a sua aresta não perpendicular aos planos principais de projeção;
- Permitir o traçado completo das vistas principais da peça;
- Permitir o traçado verdadeiro da forma de uma face inclinada.

Por fim, pode-se ainda usar a vista local que consiste numa vista que mostra pormenores nas representações que de outra forma seriam difíceis de ver e de cotar, pelo que são traçadas apenas linhas grossas.

A figura 15 representa as projeções da vista principal de uma peça.

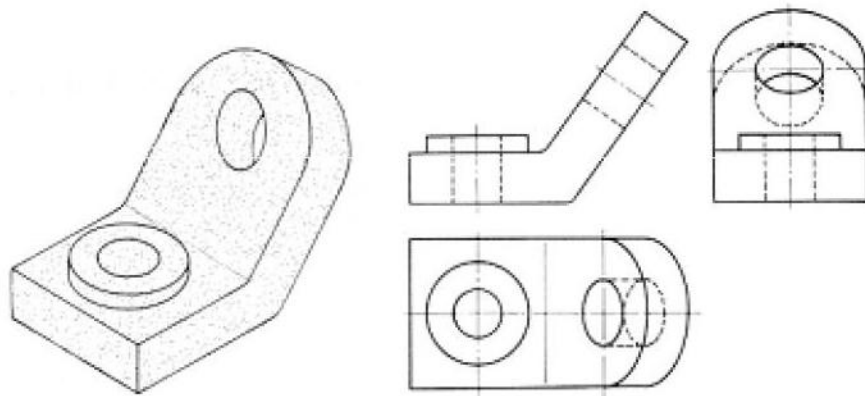


Figura 15: Projeções da vista principal de uma peça [6].

Como alguns objetos podem conter cavidades interiores significa que nas projeções das faces desses objetos iriam aparecer varias linhas interrompidas para representar estes contornos e arestas não visíveis. A interpretação de desenhos com linhas interrompidas pode ser difícil porque estas linhas interrompidas são pouco explícitas para distinguir quais são as partes ocas e partes cheias do objeto representado.

Assim sendo, para facilitar a leitura de projeções de objetos com cavidades, recorre-se ao uso de cortes. O corte consiste em retirar a representação da parte anterior do objeto que é seccionada por um plano - plano de corte ou plano secante - paralelo ao plano de projeção. Faz-se, de seguida, a projeção da parte do objeto que foi seccionada seguindo as normas relativas à disposição das vistas. Esta nova projeção tem por nome de vista cortada ou corte. A indicação do plano de corte, em que se representa a posição do plano de corte e o sentido de observação do corte, são assinalados numa vista contígua por:

- Uma linha a traço misto fino, com as extremidades fora do contorno exterior da vista a traço grosso. Esta linha representa a intersecção do plano de corte com o plano em que está projetada a vista contígua.



- Setas apoiadas no traço grosso, junto das quais escrevemos duas letras maiúsculas iguais - estas são localizadas entre o plano de corte e o desenhador.
- Por cima do corte deve-se escrever, por exemplo, A-A. Estas letras devem ficar sempre na vertical.

Na figura 16 está a explicação da metodologia para fazer cortes.

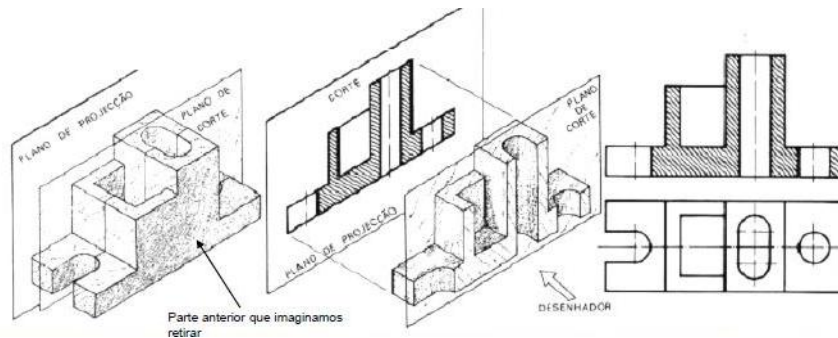


Figura 16: Explicação da metodologia de corte [6].

O tracejado é usado para identificar as partes que foram seccionadas pelo plano de corte. Isto confere ao corte uma sensação imediata de quais são as zonas a cheio do objeto e as zonas a vazio na zona cortada. No tracejado deve-se usar linha do tipo contínuo fino, seguindo as seguintes regras:

- Sempre que possível o tracejado deve fazer-se com uma inclinação de  $45^\circ$ , devendo evitar-se que seja paralelo às linhas de contorno ou de eixo de superfícies curvas e/ou perpendicular às superfícies de contorno;
- O espaçamento entre as linhas do tracejado deve ser compreendido entre 1.5 a 3 mm e sempre regular ao longo de todo o corte.

Na figura 17 estão as formas corretas e incorretas de fazer o tracejado.

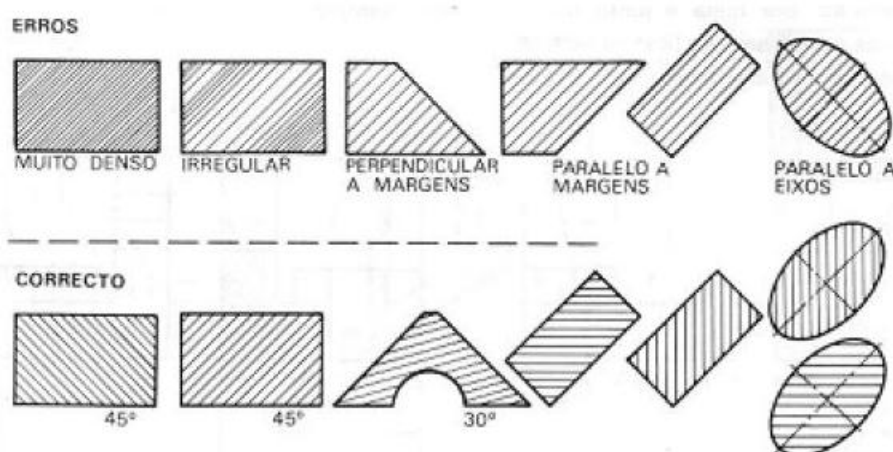


Figura 17: Formas de desenhar o tracejado [6].

## Cotagem

A forma e as dimensões a atribuir a uma peça dependem de variados fatores:

- Esforços que as peças devem suportar;

- Possibilidade de fabricação das peças nas oficinas;
- Condições de montagem das peças nos conjuntos de que fazem parte;
- Aptidão das peças ao desempenho das funções mecânicas no conjunto.

Assim, depois de se representar graficamente a forma das peças, terão de ser assinaladas certas informações, como:

- Distâncias entre superfícies;
- Localização dos diversos elementos constituintes das peças;
- Tolerâncias das dimensões, de forma e de posição;
- Acabamentos das superfícies;
- Tipos de materiais.

Estas informações são representadas por linhas, símbolos, figuras e notas, que constituem a cotação segundo a norma. As cotas das peças podem ser do seguinte tipo:

- **Cota funcional** - é a cota relativa a um elemento funcional, ou seja, a cota que caracteriza uma dimensão essencial a uma dada função da peça.
- **Cota não funcional** - é a cota relativa a um elemento que não intervém diretamente no funcionamento da peça.
- **Cota auxiliar** - é a cota que corresponde a uma dimensão derivada de outras já expressas no desenho e é representada dentro de parênteses. Somente interessa como informação útil.

A cotação consta da norma NP ISO 129 - Cotação.

## Toleranciamento

Este subcapítulo destina-se a analisar de forma simples e a interpretar os desenhos técnicos, relativamente às tolerâncias e simbologia, bem como as consequências das tolerâncias dadas nos acabamentos e processos usados.

O toleranciamento é uma extensão da cotação e existe por forma a diminuir erros no fabrico de peças, estando as tolerâncias interligadas com os estados das superfícies obtidos na maquinaria e a função que as peças vão ter, ou seja, quanto mais pequenas forem as tolerâncias dadas melhores têm que ser os acabamentos superficiais. O inverso pode não ser verdade, visto que para um bom acabamento, as tolerâncias dadas podem ser bastante grandes, o que poderia significar custos de produção maiores que os necessários para obter essa peça. Isto leva a que quanto maior for a precisão exigida a uma peça maior o custo da sua produção.

Outra questão é a de ser impossível fabricar, em termos práticos, uma peça com uma determinada cota específica. Por exemplo, uma cota de 35mm significa que terá na realidade um valor de aproximadamente 35mm, dependendo da função da peça e do processo de fabrico.

As tolerâncias dimensionais a serem usados em peças individuais ou de montagens, ajustamentos encontram-se normalizadas em função de um conjunto de classes de qualidade e de posição pelo sistema ISO de desvios e ajustamentos. Os ajustamentos serão abordados mais a frente neste capítulo.

## Classes de qualidade

Na norma ISO 286-1:1998 estão definidas 20 classes fundamentais ou classes de qualidade de fabrico que são designadas pelas letras IT seguidas de um número: IT01, IT0, IT1, IT2, ..., IT18. A classe IT01 é a que corresponde à de maior qualidade e a IT18, a que corresponde a uma menor qualidade de fabrico. A tabela 9 mostra as classes de qualidade definidas pela norma ISO e as suas utilizações típicas.

Tabela 9: Classes de qualidade e sua utilização.

Classe de qualidade	Utilização
01 a 4	Instrumentos de verificação (calibres, padrões, etc.).
5 a 6	Construção mecânica de grande precisão.
7 a 8	Construção mecânica cuidada.
9 a 11	Construção mecânica corrente.
12 a 18	Construção mecânica grosseira (laminagem, estampagem, fundição, forjamento).

A estas classes correspondem tolerâncias que são maiores quanto maiores forem as cotas nominais afetadas pela mesma classe. A figura 18 demonstra exatamente isso.

TOLERÂNCIAS FUNDAMENTAIS ISO - PEÇAS LISAS																										
Dim.nom.	Tolerâncias em $\mu\text{m}$													Tolerâncias em mm												
em mm	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18						
de 0 a 1	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14											
>1 a 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1,0	1,4						
>3 a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,2	1,8						
>6 a 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2						
>10 a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	0,11	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7						
>18 a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	0,13	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3						
>30 a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	0,1	0,16	0,25	0,39	0,62	1,0	1,6	2,5	3,9						
>50 a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	0,12	0,19	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3,0	4,6						
>80 a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	0,14	0,22	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4						
>120 a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3						
>180 a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	0,115	0,185	0,29	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2						
>250 a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	0,13	0,21	0,32	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1						
>315 a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	0,14	0,23	0,36	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9						
>400 a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	0,155	0,25	0,40	0,63	0,97	1,55	2,5	4,0	6,3	9,7						
>500 a 630		9	11	16	22	32	44	70	0,11	0,175	0,28	0,44	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11							
>630 a 800		10	13	18	25	36	50	80	0,125	0,2	0,32	0,5	0,8	1,25	2,0	3,2	5	8	12,5							
>800 a 1000		11	15	21	28	40	56	90	0,14	0,23	0,36	0,56	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14							
>1000 a 1250		13	18	24	33	47	66	0,105	0,165	0,26	0,42	0,66	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5							
>1250 a 1600		15	21	29	39	55	78	0,125	0,195	0,31	0,5	0,78	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5							
>1600 a 2000		18	25	35	46	65	92	0,15	0,23	0,37	0,6	0,92	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23							
>2000 a 2500		22	30	41	55	78	0,11	0,175	0,28	0,44	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28							
>2500 a 3150		26	36	50	68	96	0,135	0,21	0,33	0,54	0,86	1,35	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33							
	em $\mu\text{m}$								tolerâncias em mm																	
EXACTIDÃO	Alta exactidão								Const. Mec.-ajustamentos						Const. corrente: fina   média   gros.   muito grosseira											
VERIFICAÇÃO	Medição- aferição								Controlo-calibres						Medição (micrómetro, paquímetro, etc.)											
MAQUINAGEM	Super acabamento								Máquinas ferramentas correntes										Laminagem, Trefilagem, Forjagem, etc.							
FUNÇÃO	Estanque;movi.º preciso								Centrag.; contact. móveis				Contactos fixos				Superfícies brutas sem contacto									
APLICAÇÃO	Aparelhos de medida								Ajustamentos- dimensões funcionais													Dimensões não funcionais				

Figura 18: Tolerâncias fundamentais ISO para peças lisas [6].

Em geral estas tolerâncias nem sempre se encontram situadas simetricamente em relação à cota nominal, podendo considerar-se três casos dos campos de tolerância posicionados em relação à linha zero:

- Acima da cota nominal;



- De um e do outro lado da cota nominal;
- Abaixo da cota nominal.

O posicionamento das tolerâncias relativamente à cota nominal encontram-se normalizadas e são representadas por letras, no caso de furos por letras maiúsculas (F, FG, G, H, ...) e, no caso de veios, por letras minúsculas (f, fg, g, h, ...). Existe para cada caso 28 posições normalizadas para os campos de tolerância que a figura 19 mostra.

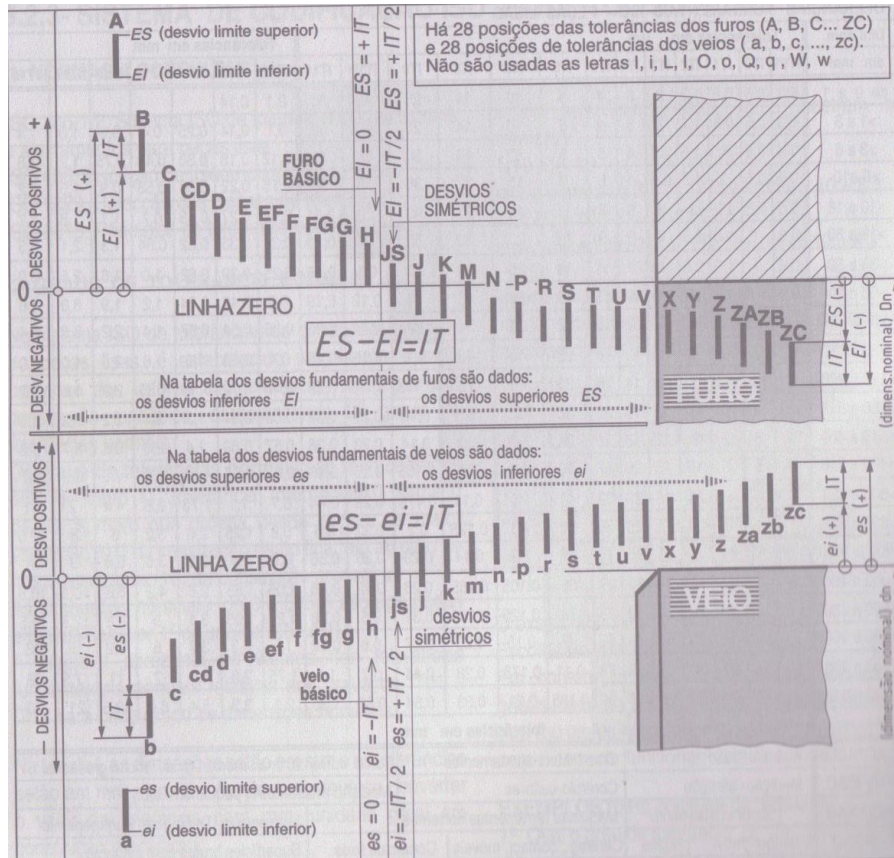


Figura 19: Tabelas para desvios de furos e veios [6].

## Ajustamentos

Um ajustamento mecânico corresponde à junção entre duas peças que possuem elementos em contacto. As cavidades nas peças nas quais entram as saliências de outras peças como furos cilíndricos, cónicos prismáticos ou mesmo ranhuras, são apenas designados por furos. As saliências nas peças, como por exemplo, veios ou chavetas, que entram nas anteriores são designados por veios. Os furos são caracterizados funcionalmente por dimensões interiores e os veios por dimensões exteriores. As dimensões interiores de furos e as exteriores dos veios que estando ajustados têm a mesma cota nominal. Esta é uma dimensão funcional e que deve ser devidamente toleranciada.

Podem ocorrer 3 tipos de ajustamento entre furos e veios:

- **Ajustamento com folga** – a dimensão real do furo é sempre menor que a dimensão real do veio;
- **Ajustamento com aperto (fixo ou com interferência)** – a dimensão real do furo é sempre maior que a dimensão do veio;

- **Ajustamento incerto (ou indeterminado)** – quando a dimensão real do furo é umas vezes superior e outras vezes inferior a dimensão real do veio.

Na figura 20 apresentam-se estas três situações.

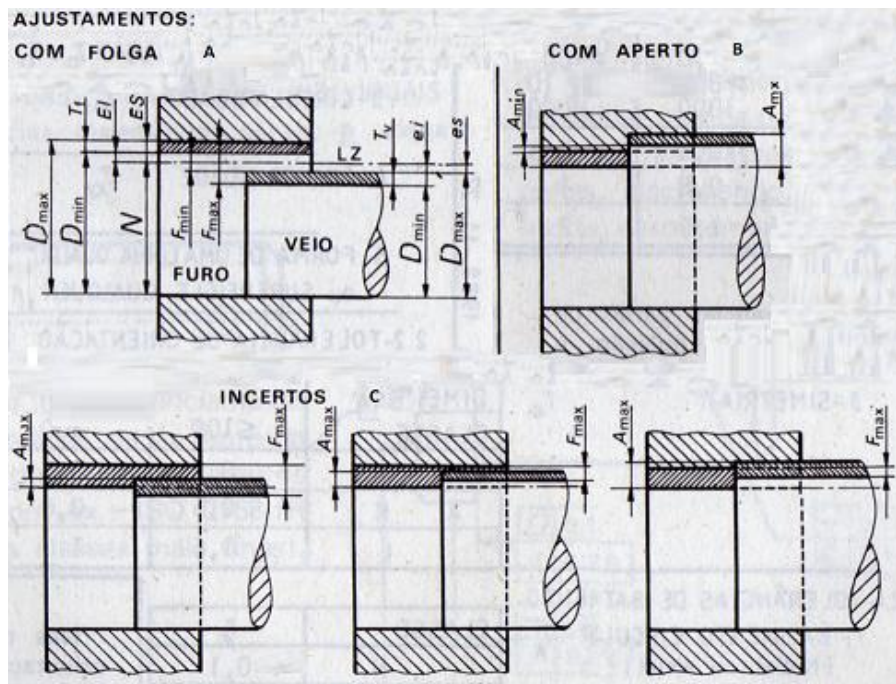


Figura 20: A -Ajustamento com folga; B -Ajustamento com aperto; C -Ajustamento incerto [6].

A figura 21 mostra os ajustamentos mais recomendados para um sistema de furo normal.

SISTEMA DO FURO NORMAL													
furo H		VEIOS											
cota nominal		d	e	f	g	h	i	j	m	p	s	u	
		AJUSTAMENTOS MÓVEIS					AJUSTAMENTOS FIXOS						



seja suficiente, caso dos elementos não funcionais. Para todas as outras cotas, utilizam-se tolerânciamentos individuais.

Na figura 22 estão representados os valores admissíveis de erro no fabrico para elementos submetidos a tolerânciamento geral.

SINÔS. MORAIS 1989 - 11 - 27

1-TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS GERAIS ISO 2768-1																	
1.1-TOLERÂNCIAS LINEARES			Desvios em mm														
			DIMENSÕES CLASSE	0,5 ... 3	>3 ... 6	>6 ... 30	>30 ... 120	>120 ... 400	>400 ... 1000	>1000 ... 2000	>2000 ... 4000						
Chanfros altura $h$ arredondados raio $R$			Fina $f$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	—						
CLASSE 0,5...3 >3...6 >6			Média $m$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	$\pm 2$						
$f$ e $m$			Grosseira $c$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 4$						
$c$ e $v$			Muito gr. $v$	—	$\pm 0,5$	$\pm 1$	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 8$						
1.2-TOLERÂNCIAS ANGULARES: $T_A$			lado mais curto $L_b$	$\leq 10$	$>10 \dots 50$	$>50 \dots 120$	$>120 \dots 400$	$>400$									
			Desvios:														
			Fina $f$ , média $m$	$\pm 1'$	$\pm 0'30''$	$\pm 0'20''$	$\pm 0'10''$	$\pm 0'5'$									
			grosseira $c$	$\pm 1'30''$	$\pm 1'$	$\pm 0'30''$	$\pm 0'15''$	$\pm 0'10''$									
			muito gros. $v$	$\pm 3'$	$\pm 2'$	$\pm 1'$	$\pm 0'30''$	$\pm 0'20''$									
2-TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS GERAIS ISO 2768-2										Tolerâncias em mm							
2.1-TOLERÂNCIAS DE FORMA:																	
		DIMENSÃO CLASSE		$\leq 10$	$>10 \dots 30$	$>30 \dots 100$	$>100 \dots 300$	$>300 \dots 1000$	$>1000 \dots 3000$								
1-RECTILISMO	$T_L$	H		0,02	0,06	0,1	0,2	0,3	0,4								
2-PLANEZA	$T_D$	K		0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8								
		L		0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6								
3-CIRCULARIDADE	$T_O$	Faz-se $T_O = T_D$ (mas sempre $T_O \leq T_f$ )															
4-CILINDRICIDADE	$T_{\phi}$	$T_{\phi}$ resulta de $T_O$ e ( $T_L$ e $T_f$ das geratrizes)															
5-FORMA DE UMA LINHA QUALQUER ou SUPERFÍCIE QUALQUER	$T_n$	$T_n$ e $T_O$ são substituídas por $T_D$															
2.2-TOLERÂNCIA DE ORIENTAÇÃO																	
		DIMENSÃO CLASSE		$\leq 100$	$>100 \dots 300$	$>300 \dots 1000$	$>1000 \dots 3000$										
1-PERPENDICULARIDADE	$T_{\perp}$	H		0,2	0,3	0,4	0,5										
		K		0,4	0,6	0,8	1										
		L		0,6	1	1,5	2										
2-PARALELISMO	$T_{\parallel}$	Considera-se $T_{\parallel} = T_D$ ou $T_{\parallel} = L/T_L$ (tomando o maior valor)															
3-ANGULARIDADE	$T_{\angle}$	Substituída por $T_A$															
2.3-TOLERÂNCIAS DE POSIÇÃO																	
1-LOCALIZAÇÃO	$T_{\square}$	Substituída pelos $T_D$ das coordenadas															
2-CONCENTRICIDADE E COAXIALIDADE	$T_{\odot}$	Considerar $T_{\odot} \leq T_f$															
3-SIMETRIA	$T_{\leftrightarrow}$	DIMENSÃO CLASSE		$\leq 100$	$>100 \dots 300$	$>300 \dots 1000$	$>1000 \dots 3000$										
		H		0,5	0,5	0,5	0,5										
		K		0,6	0,6	0,8	1										
		L		0,6	1	1,5	2										
2.4-TOLERÂNCIAS DE BATIMENTO																	
1-BATIMENTO CIRCULAR (radial ou axial)	$T_{\odot}$	CLASSE		$T_f$													
		H		0,1													
2-BATIMENTO TOTAL	$T_{\phi}$	K		0,2													
		L		0,3													
EX: INDICAÇÃO NO DESENHO ISO 2768-mK																	

Nas tolerâncias gerais de orientação e de posição, o elemento mais longo é tomado como elemento de referência e a tolerância é aplicada ao elemento mais curto.

Figura 22: Tolerânciamento geral [6].

## Estados de superfícies

A norma ISO 1302 especifica o estado de acabamentos superficiais nos desenhos. Como é impossível obter superfícies perfeitamente planas, estas apresentam pequenas irregularidades superficiais que se designam por rugosidade de superfície e que se caracterizam pela média aritmética dos desvios existentes em relação à linha média, como se pode ver na figura 23.

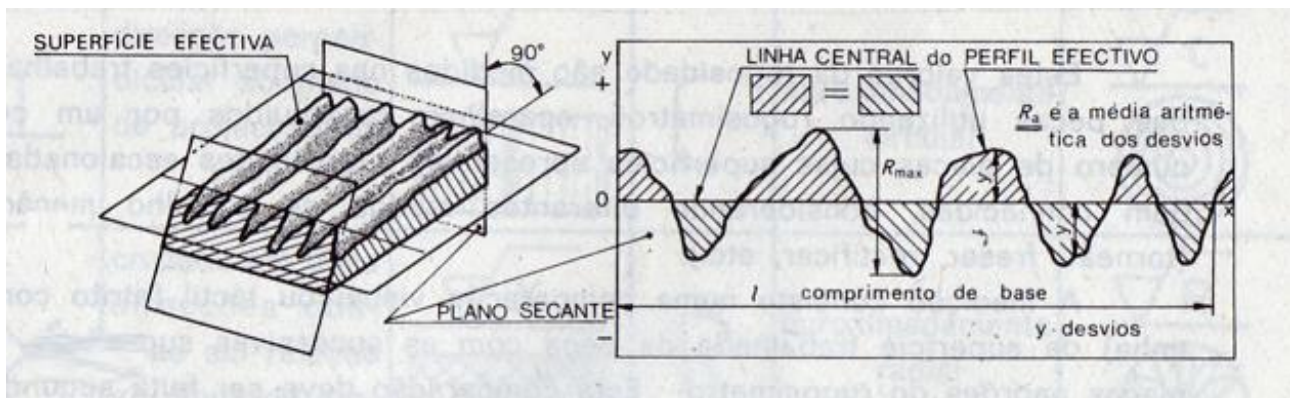


Figura 23: Rugosidade [6].

Este desvio médio aritmético é designado apenas por rugosidade ( $R_a$ ) e é expresso em micrómetros ( $\mu m$ ). Nos desenhos devem ser indicados os valores de rugosidade nas apenas superfícies indispensáveis para o funcionamento das peças. Na figura 24 encontra-se o símbolo básico para representar a rugosidade bem como são indicadas as informações complementares no símbolo.

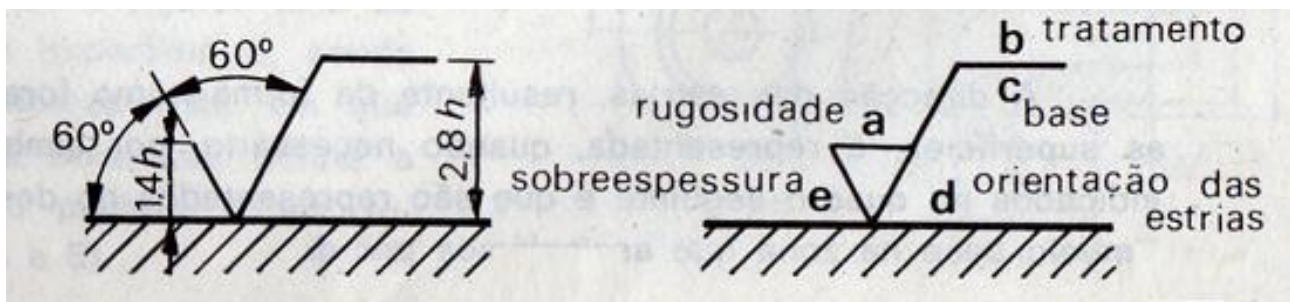


Figura 24: Simbologia básica [6].

A figura 25 mostra a diferença entra simbologia antiga e a moderna para determinados valores padrão de rugosidade.

ESTADO DE SUPERFÍCIE	SÍMBOLO ANTIGO	CORRESPONDÊNCIA			SÍMBOLO MODERNO
		em $R_a$	em N	em $R_{max}$	
Superfície em bruto e grosseira (de fundição em areia, ou de forja)		>50	>N12	>200	
Superfície em bruto mas sem rebarbas nem saliências		≥25	>N11	>100	
Superfícies trabalhadas mecanicamente: — os riscos das ferramentas são visíveis;		12,5	N10	45	
— superfície alisada (os riscos ainda são visíveis)		3,2	N8	10	
— superfície polida (os riscos das ferramentas já não são visíveis).		0,8	N6	2,5	
Para ajustamentos de qualidades 5,6 ou 7					

Figura 25: Simbologia antiga e moderna [6].



Na figura 26 estão indicados os diferentes símbolos adicionais que representam o sentido das estrias resultantes dos processos de maquinação.

símbolo	significado	exemplo	símbolo	significado	exemplo
=	direcção paralela ao plano de projecção da vista		M	multidireccional	
⊥	direcção perpendicular ao plano de projecção da vista		C	aproximadamente circular	
X	cruzada em duas direcções obliquas em relação ao plano de projecção da vista		R	aproximadamente radial	

Figura 26: Símbolos de orientação das estrias dos processos de maquinação [6].

### Exemplo da aplicação das regras de desenho técnico no projeto

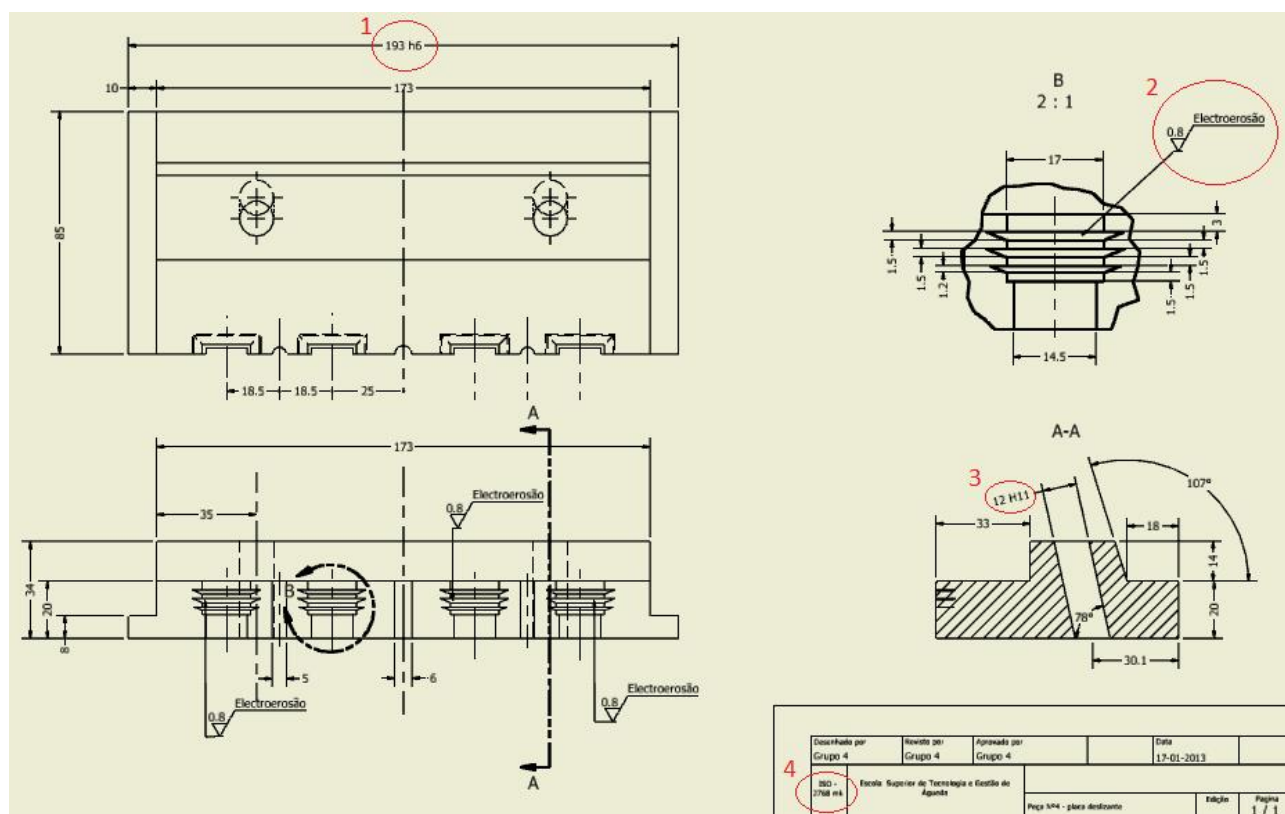


Figura 27: Desenho da placa deslizante.

Neste exemplo da figura 27 encontram-se aplicadas algumas das normas e conceitos anteriormente abordados num desenho da placa deslizante.

No desenho anterior existem dois aspetos importantes a exemplificar, relativamente ao toleranciamento e ao ajustamento. A tolerância escolhida para a construção mecânica desta placa é IT9, o que explica a razão das cotas do desenho não terem casas decimais, pois a escolha da

tolerância influencia a precisão das cotas do desenho. Apenas é utilizada uma casa decimal em cotas cujo valor necessite de ser expresso nesse formato.

Em relação aos furos do molde, existem duas situações diferentes. Os furos assinalados na figura 27, pelo número 3, têm a função de passar guias, o que implica o uso de um ajustamento deslizante H11. Na cota assinalada pelo número 1, aplicou-se um ajustamento h6, pois esta placa tem que deslizar, justamente e sem folga, e vendo pela tabela da figura 21 de ajustamentos recomendados, verificou-se que este seria o ajustamento recomendado para esta aplicação.

Na figura 27, número 2, encontra-se indicada que a zona da cavidade foi eletroerodida com uma rugosidade de  $0.8\mu m$ , foi escolhida esta rugosidade por ser a que mais se assemelhava as alhetas da peça original e a que promoveria melhor extração das peças injetadas.

Por fim, no número 4 da figura 27 encontra-se a indicação do toleranciamento geral aplicado no desenho.

### 2.1.2 Desenhos à mão da peça a produzir e da placa deslizante

Na figura 28 está o desenho realizado à mão da peça em PP que serviu de base para o trabalho do projeto.

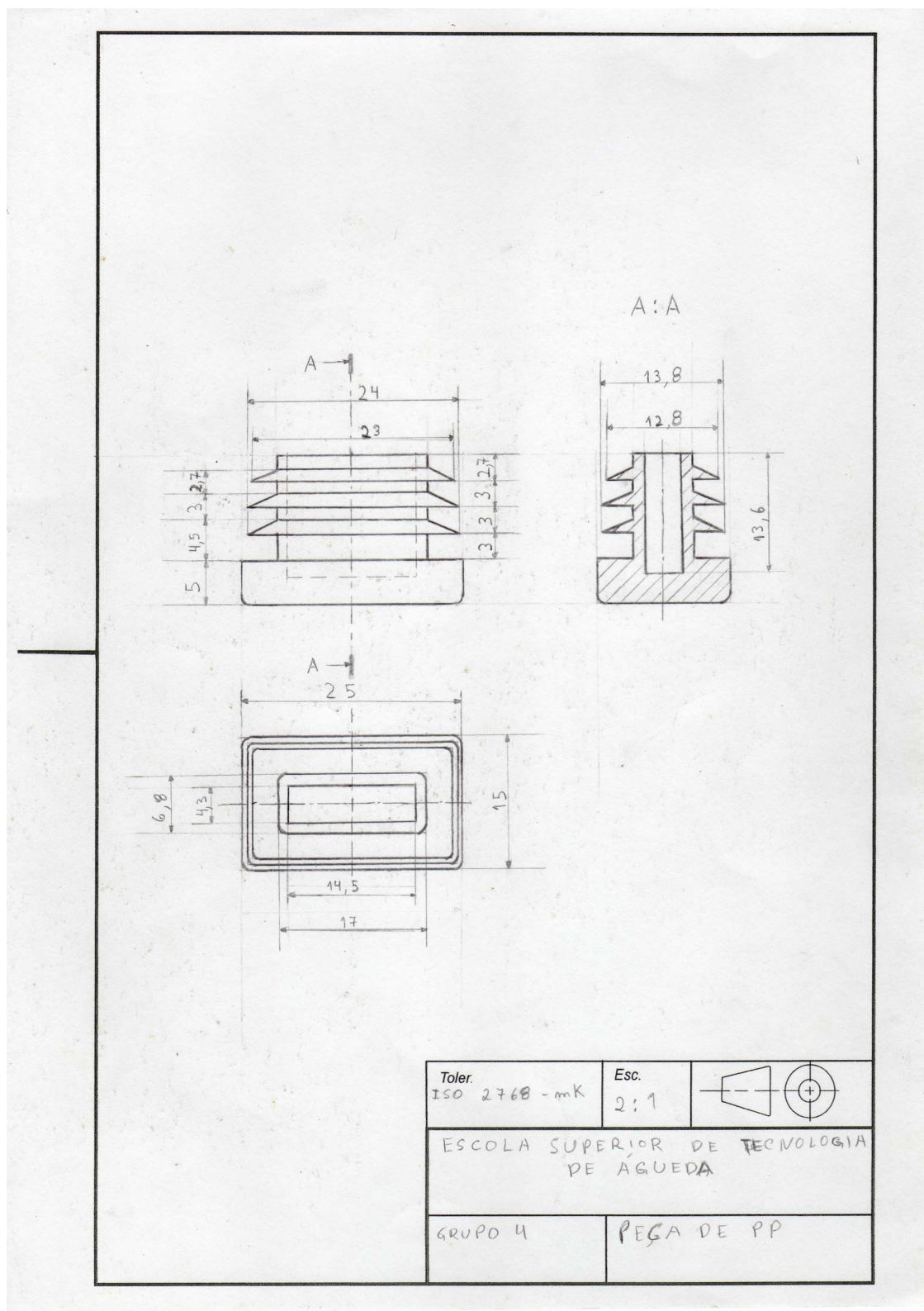


Figura 28: Desenho à mão da peça em PP.

E na figura 29 está o desenho da placa deslizante, feito à mão.

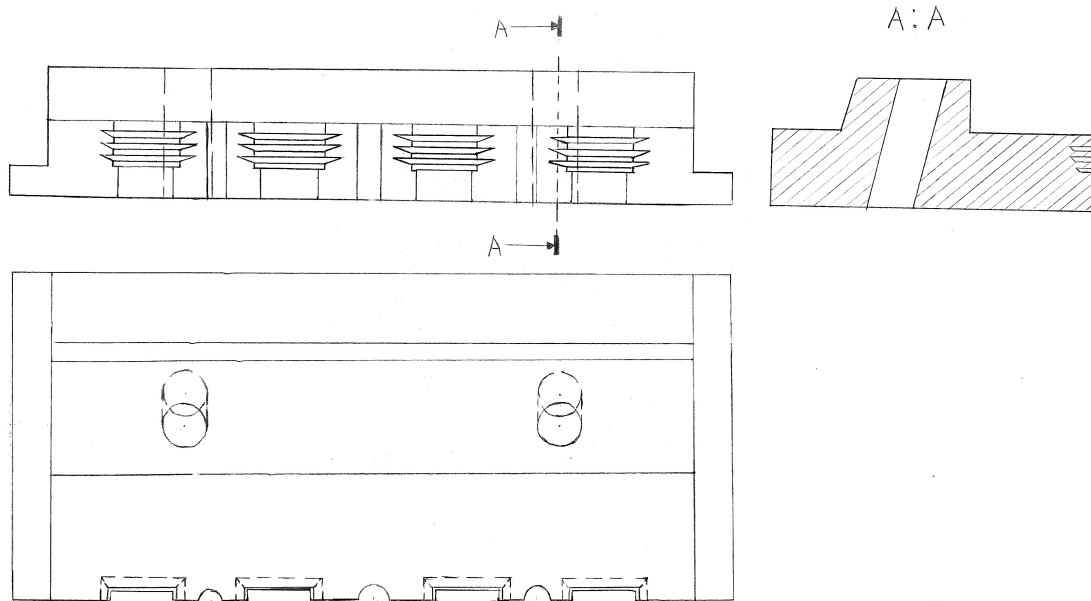


Figura 29: Desenho à mão da placa deslizante.

### 2.1.3 Modelação a computador da placa deslizante

No exemplo que se segue, explica-se como se modela de forma detalhada uma das placas deslizantes com ajuda do *inventor* por forma a obter a peça da figura 30. De notar que com o *software inventor* existem varias maneiras de se obter a mesma peça final, embora se vá apenas exemplificar o método que foi optado pelo grupo no âmbito do projeto, pois foi o considerado a abordagem mais simples e rápida.

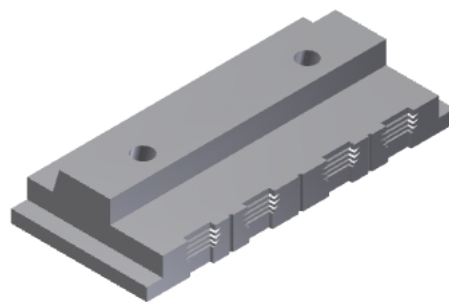


Figura 30: *Inventor* - Placa deslizante

Os módulos das placas deslizantes foram usados para obter cotas mais precisas para posicionar os elétrodos aquando da maquinação das cavidades destas placas por eletroerosão. Começou-se por iniciar o programa *inventor*. A figura 31 mostra a interface gráfica inicial do programa, de seguida no separador *get started*, seleccionou-se a opção *new*, aparecendo o menu da figura 32.



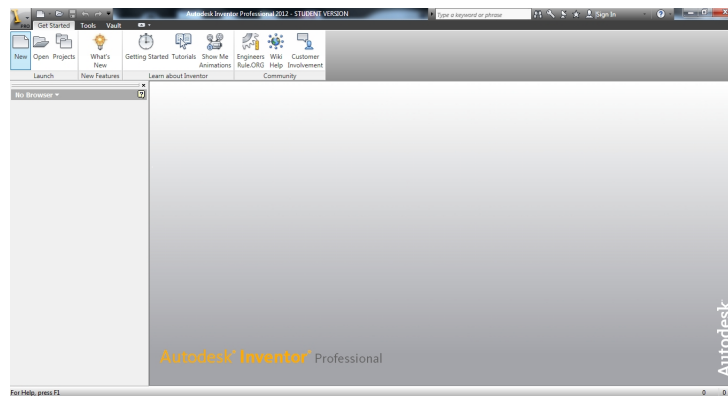


Figura 31: *Inventor* - Interface gráfica do *Inventor*

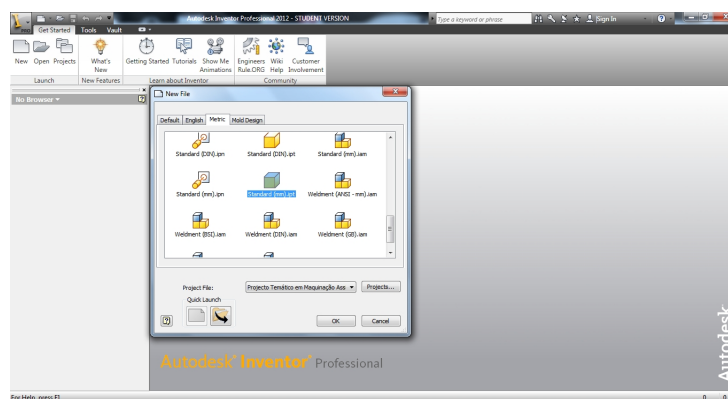


Figura 32: *Inventor* - Novo objeto - *Inventor*

Na janela *new file* selecionou-se, no separador *Metric*, a opção *standard(mm).ipt* e de seguida clicou-se em *ok* para gerar um ficheiro em branco para modelação 3D. A figura 33 mostra como o ficheiro *.ipt* em branco aparece.

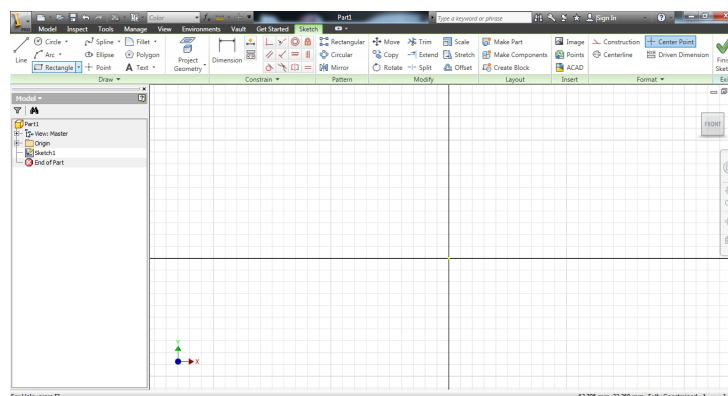


Figura 33: *Inventor* - Ficheiro *.ipt* em branco

No separador *sketch*, seleciona-se a ferramenta retangular, cria-se o perfil pretendido e, com o comando *dimension*, definem-se as dimensões que se pretendem e clica-se em *finish sketch*, como na figura 34.

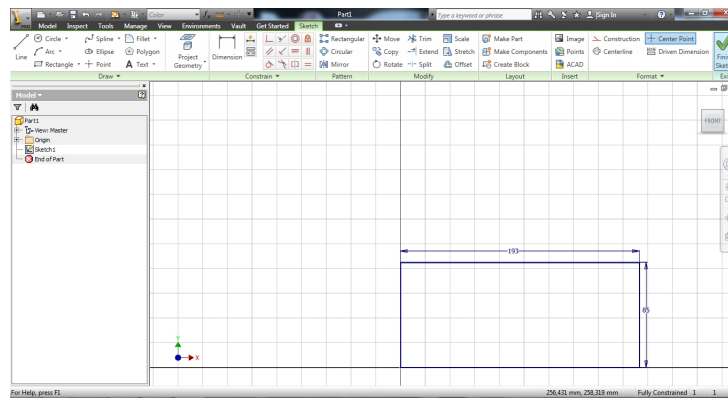


Figura 34: *Inventor* - *Finish sketch* da secção retangular

Nesta fase, utiliza-se a ferramenta *extrude* para gerar um sólido a partir do perfil anteriormente criado. Na janela que aparece de seguida, é necessário escolher o perfil, dimensão e direção da extrusão. Neste caso, a distância pretendida é de 8mm (Figura 35).

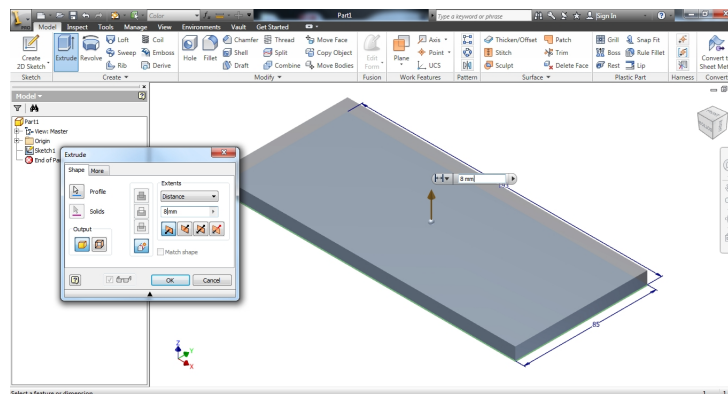


Figura 35: *Inventor* - Extrusão da secção retangular

Após estes passos, é necessário fazer uma nova extrusão. Para tal, é necessário criar um novo perfil. Usa-se um novo *sketch* na superfície do bloco e clica-se com o botão direito do rato, escolhendo a opção *new sketch*. As opções descritas encontram-se representadas nas figuras 36 e 37.

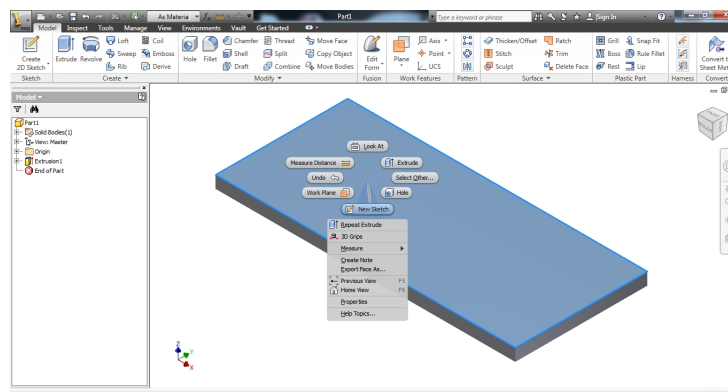
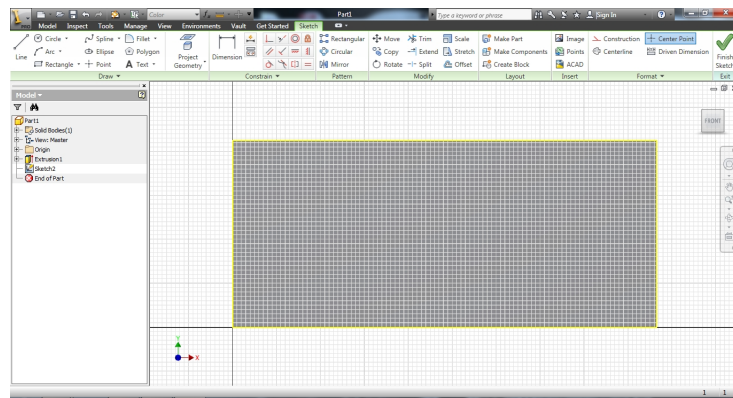
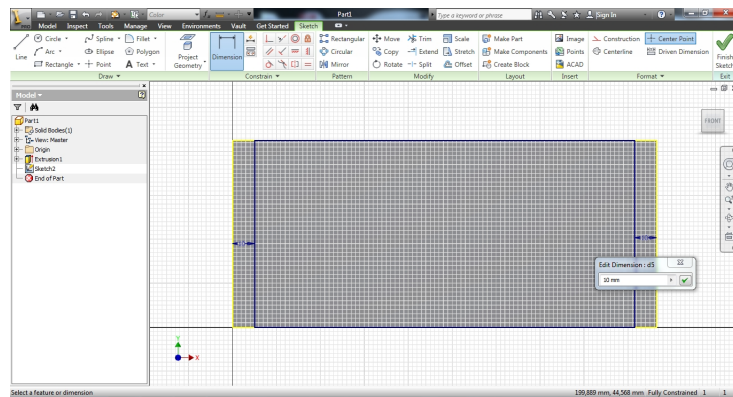
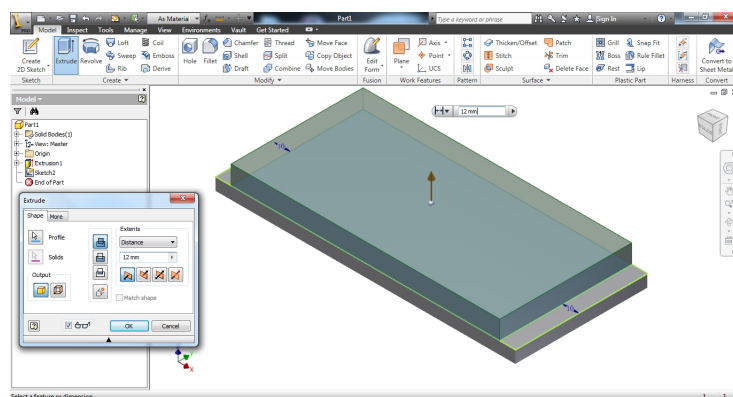


Figura 36: *Inventor* - *ring* menu

Figura 37: *Inventor - sketch 2*

Após a criação deste *sketch*, faz-se um novo perfil e extrude-se, a partir deste perfil (figuras 38 e 39).

Figura 38: *Inventor - Perfil do sketch2*Figura 39: *Inventor - Segunda extrusão*

Na peça da figura 40 foi realizado mais outro *extrude* pelo método anterior.

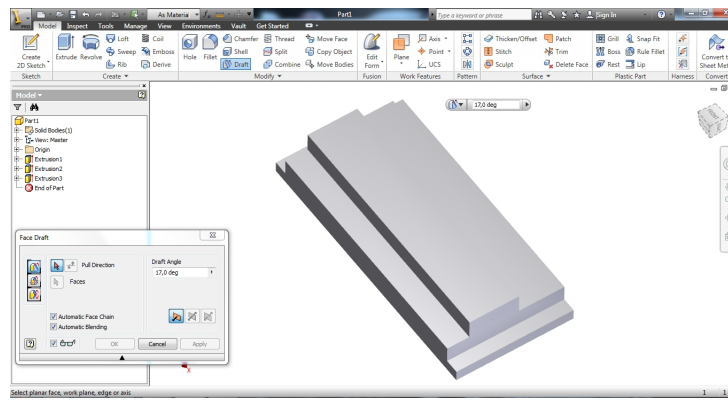


Figura 40: *Inventor* - Placa deslizante após 3<sup>o</sup> *extrude*

Agora que a placa tem este formato, executou-se um *draft* na zona indicada. Na janela de *draft*, pode-se seleccionar a *pull direction* e a face, na qual vai ocorrer o *draft*, bem como o ângulo pretendido que, neste caso, foi de 17°. A figura 41 demonstra o uso desta ferramenta.

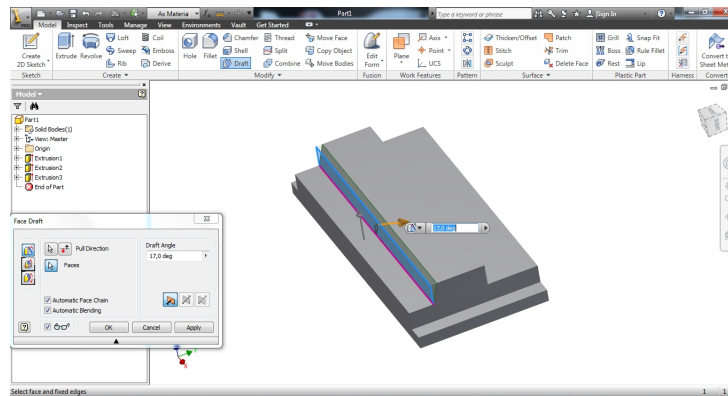


Figura 41: *Inventor* - *Draft* aplicado à placa

De seguida, iniciou-se o processo de criar as cavidades moldantes (negativo da peça). Usaram-se essencialmente duas ferramentas: *extrude* e *sweep*.

Começa-se por criar um *sketch* na superfície marcada onde se pretende executar a cavidade, e, da mesma forma que se tinha feito anteriormente, cria-se o perfil pretendido e executa-se a ferramenta *extrude* para remover o excesso de material, como se pode ver nas figuras 42 e 43.

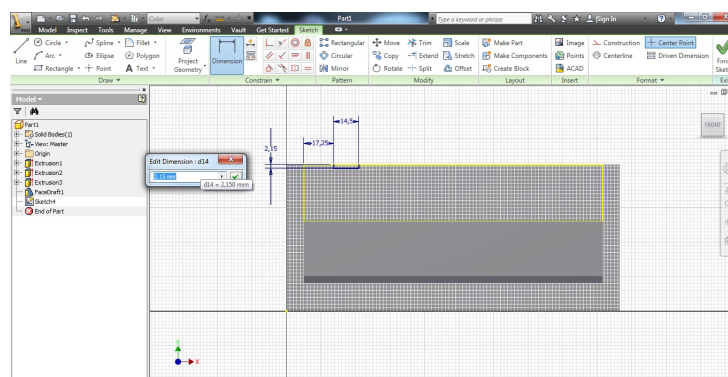
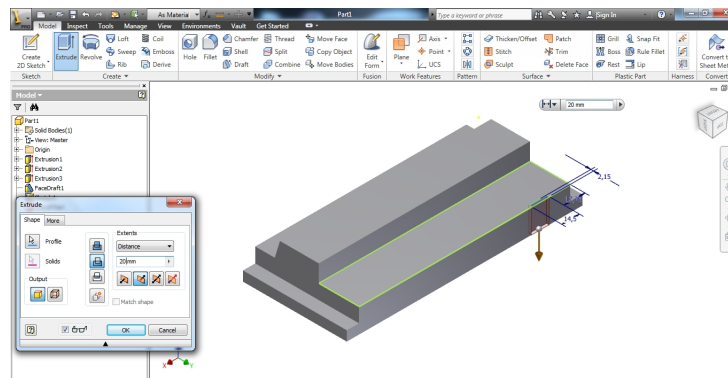
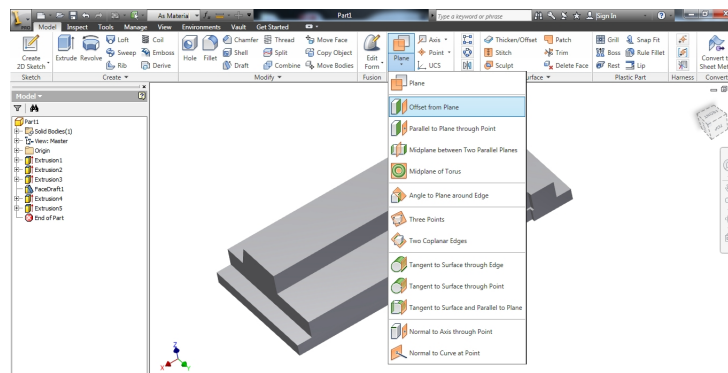
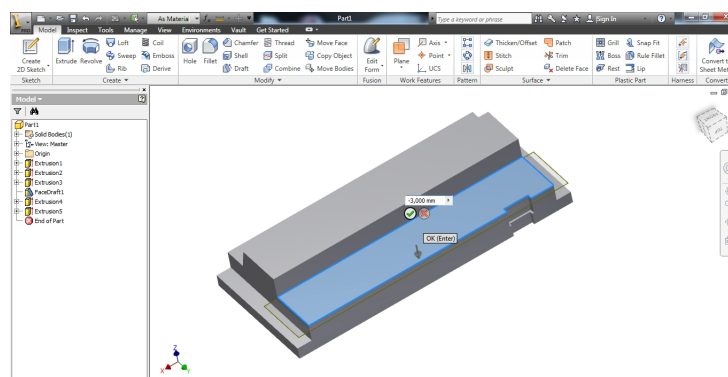
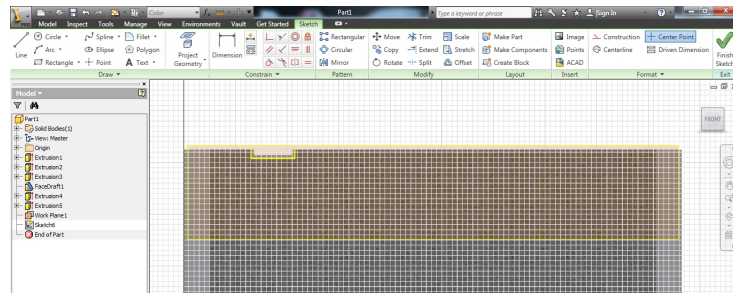


Figura 42: *Inventor* - Criação dos rasgos na placa - 1

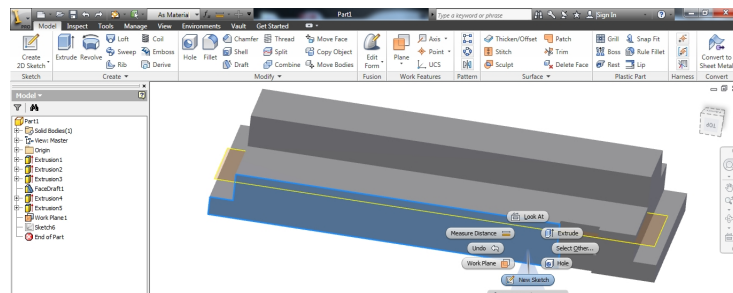
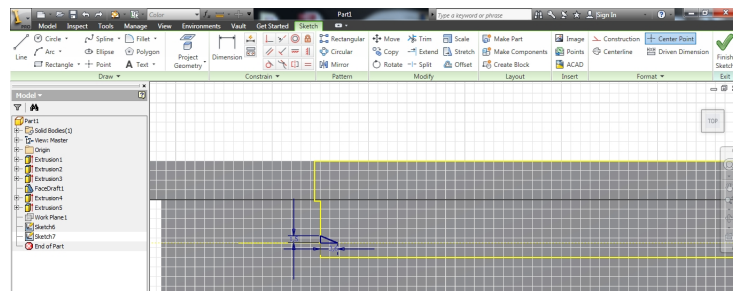
Figura 43: *Inventor* - Criação dos rasgos na placa - 2

Para criar a zona que dá origem às alhetas, devido à sua complexidade, optou-se por usar a função *sweep*. O *sweep* faz uma “varredura” de um determinado perfil ao longo de um determinado percurso. Para criar o percurso para o *sweep*, começou por se criar um plano com a ferramenta *plane* na opção *offset from plane*, que permite criar um plano com *offset* a partir da face superior da peça. De seguida, cria-se um *sketch* do plano criado e com a ferramenta *project geometry* do separador *sketch* gera-se o percurso pretendido. Este processo encontra-se ilustrado nas figuras 44, 45 e 46.

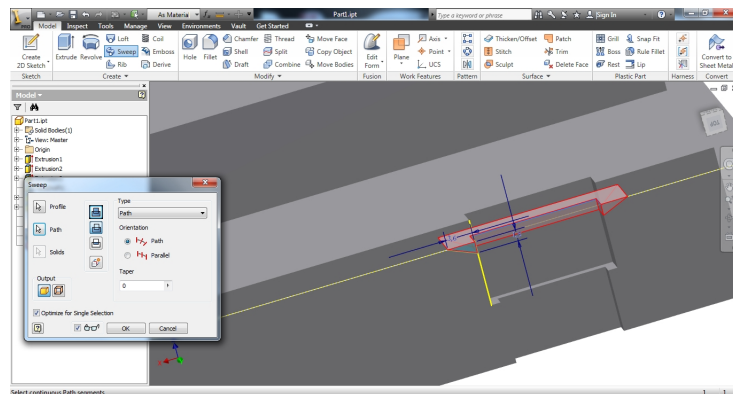
Figura 44: *Inventor* - *Offset from plane*Figura 45: *Inventor* - Percurso do plano

Figura 46: *Inventor* - Percurso do plano - 2

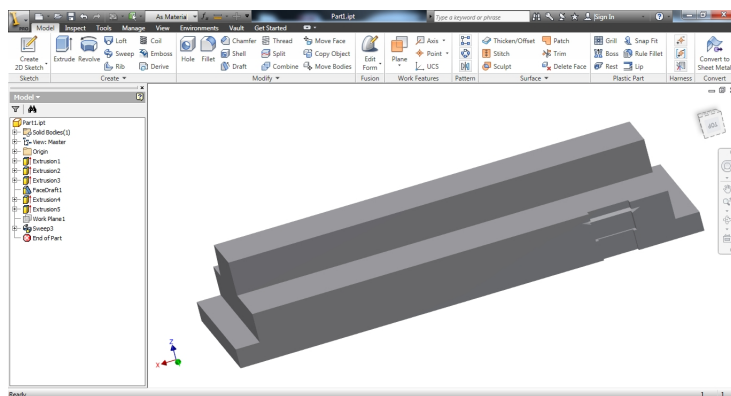
Após criação do percurso, construiu-se o perfil necessário, criando um *sketch*, (figura 47), na face frontal da peça e desenhando com a ferramenta *line* o perfil, finalizando o *sketch* (figura 48).

Figura 47: *Inventor* - New sketchFigura 48: *Inventor* - Perfil

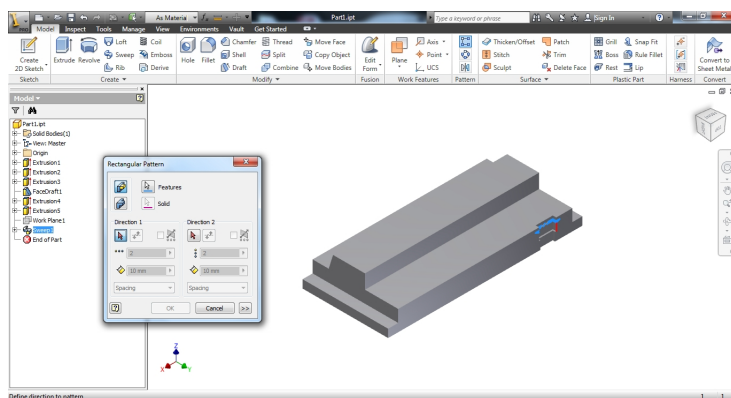
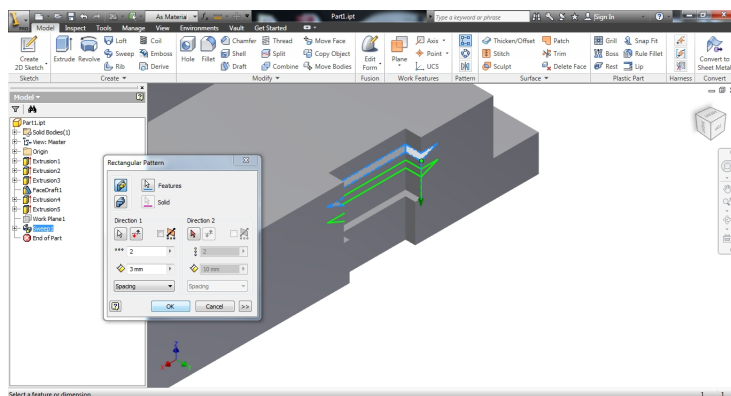
Tendo o perfil e o percurso criado, pode-se finalmente aplicar a ferramenta *sweep* (figura 49), para remover material, obtendo o resultado da figura 50.

Figura 49: *Inventor* - Desenho da alheta



Figura 50: *Inventor* - Resultado da alheta

Visto que a segunda cavidade que é igual à primeira, aplicou-se a função *rectangular pattern* na janela de configuração que permite seleccionar os perfis a serem repetidos bem como a direção e separação que se pretende. As figuras 22, 23 e 24 mostram o funcionamento desta ferramenta.

Figura 51: *Inventor* - *Rectangular pattern* - 1Figura 52: *Inventor* - *Rectangular pattern* - 2

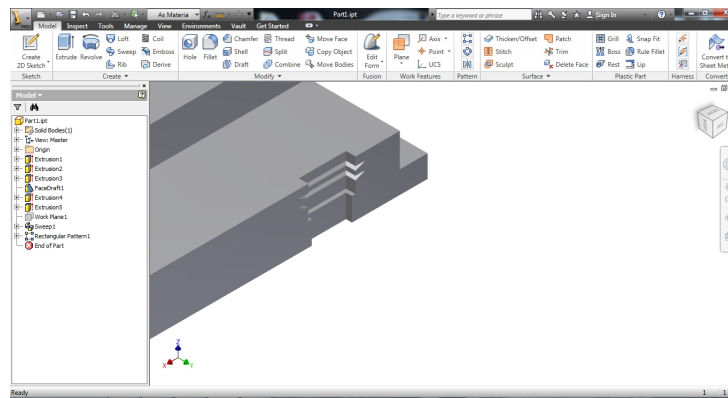


Figura 53: *Inventor* - Rectangular pattern - 3

Visto que a terceira alheta é menor do que as outras, realizaram-se as mesmas operações que na primeira alheta só que desta vez com um perfil menor, obtendo no final a figura 54.

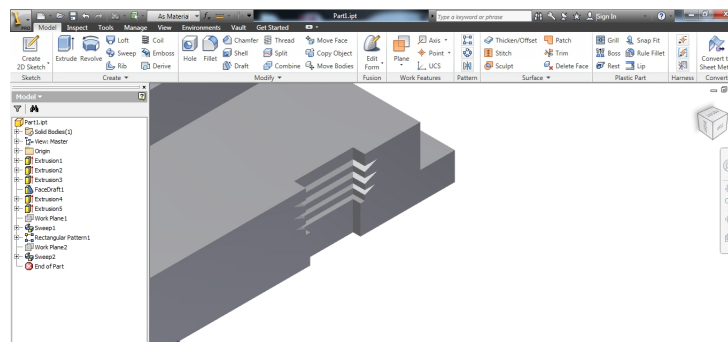


Figura 54: *Inventor* - Cavidade completa

Estando a primeira cavidade concluída, utiliza-se novamente a função *rectangular pattern* para criar a segunda cavidade (figura 55). As outras duas cavidades serão criadas no final por razões que serão compreendidas após este trabalho de desenho.

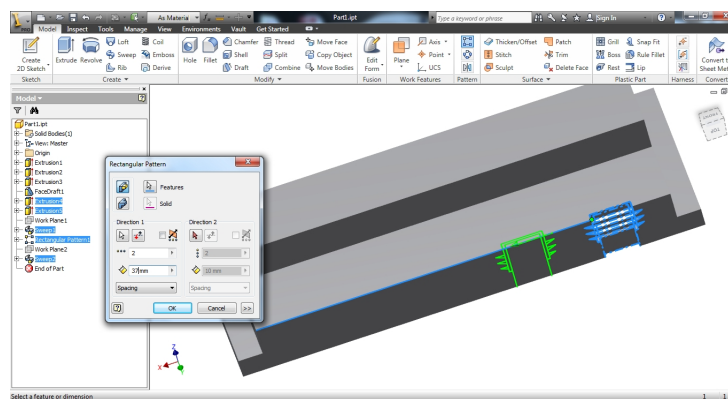
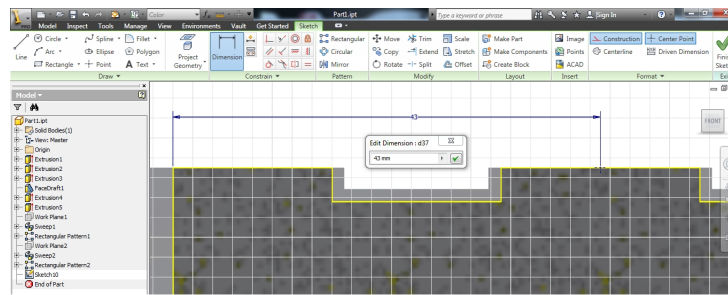
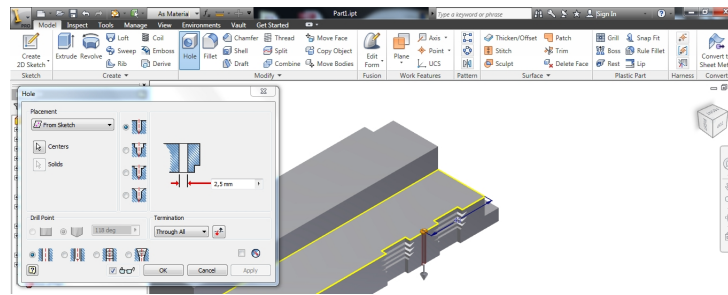
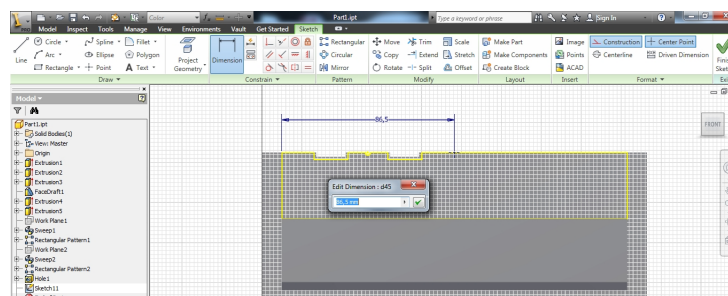
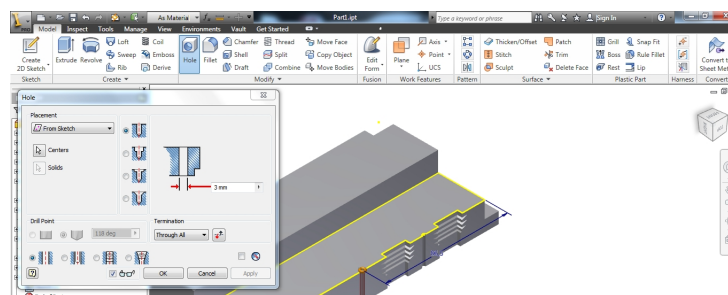


Figura 55: *Inventor* - Segunda cavidade

Os dois rasgos (a partir do centro e rasgo entre as duas cavidades criadas) foram criados com o recurso ao *sketch* a partir do qual se cria um ponto que correspondente ao centro destes mesmo rasgos, utilizando de seguida a ferramenta *hole*. No menu da ferramenta *hole* escolheu-se a opção de criar os furos passantes (rasgos), a partir dos *sketches*, com o diâmetro pretendido, como se pode observar nas figuras 56 a 59.



Figura 56: *Inventor* - Rasgos e furos nas placas - 1Figura 57: *Inventor* - Rasgos e furos nas placas - 2Figura 58: *Inventor* - Rasgos e furos nas placas - 3Figura 59: *Inventor* - Rasgos e furos nas placas - 4

Para criar os furos inclinados, optou-se por usar a ferramenta *revolve* visto que a ferramenta *hole* não permite criar furos inclinados. O *revolve* permite escolher um perfil e um eixo no qual a revolução será criada. Para criar estes furos, começou-se por criar uma linha auxiliar (*construction line*) na parte inferior da placa de tal forma que intercete o centro dos furos inclinados (figura 60). De seguida, usa-se o *Angle to Plane Around Edge* (figura 61), selecionando a linha previamente criada e a face inferior da peça de seguida, gerando assim um plano que posteriormente se altera para o ângulo pretendido (figura 62).

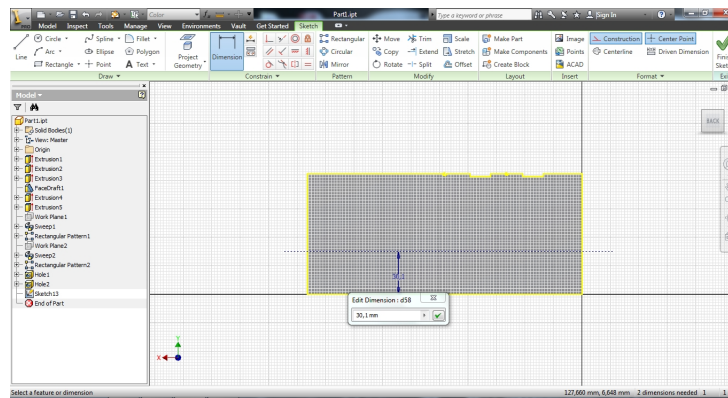


Figura 60: *Inventor* - *Sketch* para furos inclinados

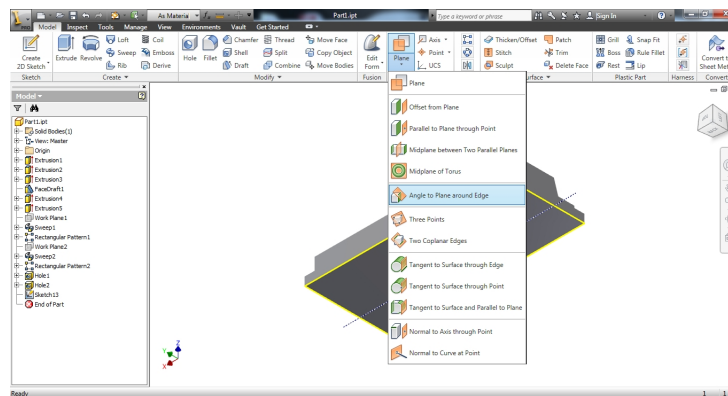


Figura 61: *Inventor* - Opções disponíveis na ferramenta plane

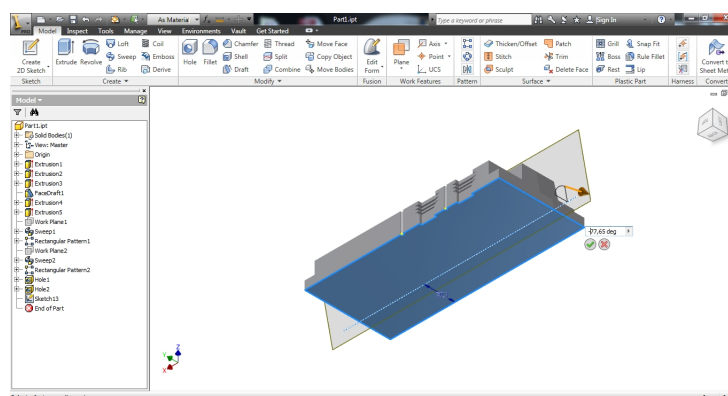
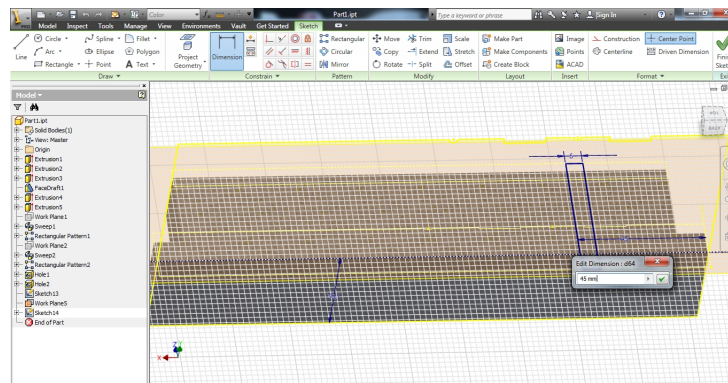
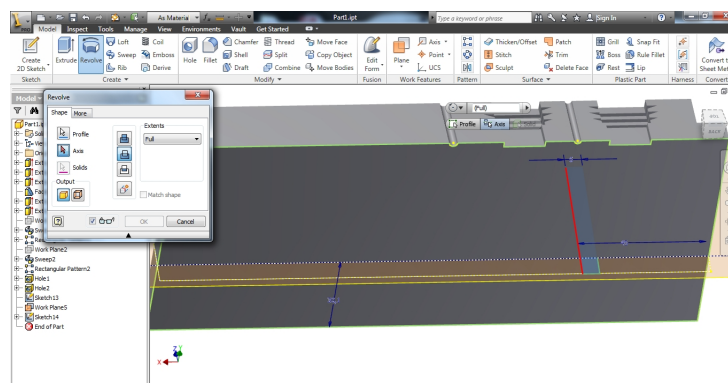
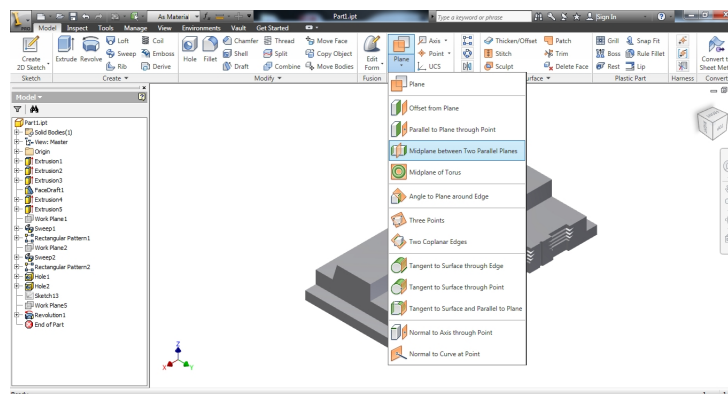


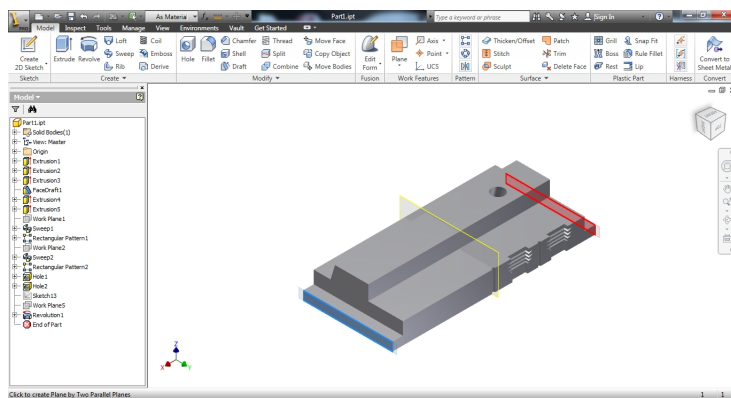
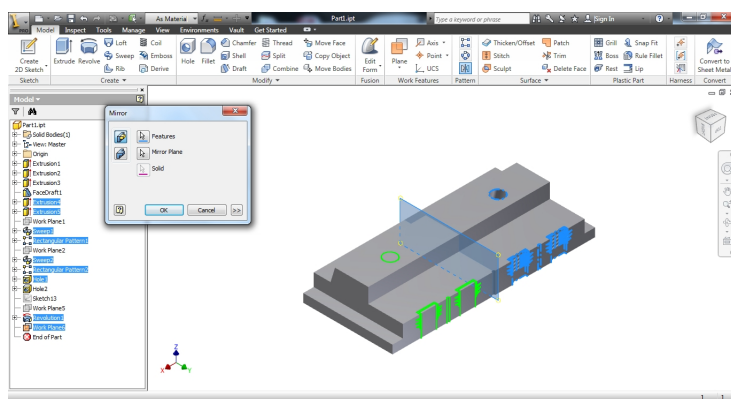
Figura 62: *Inventor* - *Angle to Plane Around Edge*

A partir do plano criado, faz-se um novo *sketch* no qual se desenha o perfil pretendido, representado nas figuras 63 e 64 e, por fim, aplica-se o *revolve* no qual se escolhe o perfil criado e o lado indicada a vermelho na figura 64 como eixo de revolução, formando o furo inclinado pretendido.

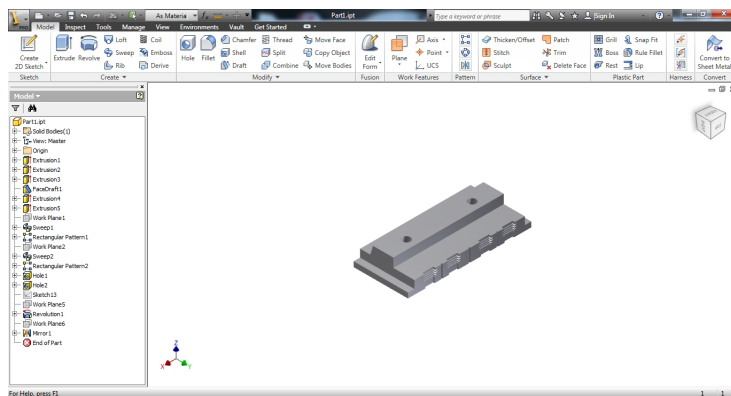
Figura 63: *Inventor* - Desenho de um furo inclinado - 1Figura 64: *Inventor* - Desenho de um furo inclinado - 2

No final utilizou-se a ferramenta *mirror* para gerar as cavidades, furo inclinado e rasgo que faltam pois estes se encontram todos equidistantes ao centro da peça. O *mirror* necessita que se crie primeiro o plano de simetria da figura a que segue a escolha dos perfis e geometrias anteriormente referidas (figuras 65 a 67).

Figura 65: *Inventor* - Criação de um plano ao centro da peça

Figura 66: *Inventor* - Plano de simetriaFigura 67: *Inventor* - Função *mirror*

Obtém-se assim o desenho final da placa deslizante, representado na figura 68.

Figura 68: *Inventor* - Desenho final da placa deslizante

## 2.2 Maquinação das placas deslizantes

A sequência operatória fabricação das placas deslizantes encontra-se na tabela 10.

Para melhor ilustrar esta sequência, apresenta-se, na figura 69, as imagens das várias operações de maquinação.

Tabela 10: Sequência operatória de fabricação da placa deslizante.

Sequencia Operatória				Parâmetros de Maquinação			Cotas			Imagem
Nº	Operação	Equipamento	Ferramenta	Velocidade de rotação (rpm)	Avanço (mm/min)	Profundidade (mm)	Inicial (mm)	Final (mm)	Aparelho de medida	
1	Colocar placa à esquadria	CNC	Roca de 8 pastilhas de WC Ø60mm	500	Manual	0,2	203x98x41	196x88x38	Paquímetro	a)
2	Rectificar faces	Rectificadora plana	-	-	-	-	196x88x38	195x87,7x37,7	Paquímetro	b)
3	Rasgos para pinos amovíveis	CNC	Fresa de topo Ø6mm	1500	500	0,15	195x87,7x37,7	195x87,7x37,7	Paquímetro	c)
4	Rasgos dos extractores	CNC	Fresa esférica Ø3mm	1200	500	0,1	195x87,7x37,7	195x87,7x37,7	Paquímetro	d)
5	Rectificar rasgos	Rectificadora plana	-	-	-	-	195x87,7x37,7	195x87,5x37,7	Paquímetro	e)
6	Maquinação do topo peça	Fresadora Universal	Roca de 7 pastilhas de WC (triangular) 80mm	358 (desbaste) 512 (acabamento)	Manual (desbaste) Automático (acabamento)	0,2	195x87,5x37,7	195x87,5x34	Paquímetro	f)
7	Maquinação abas laterais	CNC	Fresa de topo Ø10mm	1500	500	0,2	195x87,5x34	193x87,5x34	Paquímetro	g)
8	Cavidade das alhetas	Eletroerosão	Eléctrodo de cobre	Ver tabela de erosão					-	h)

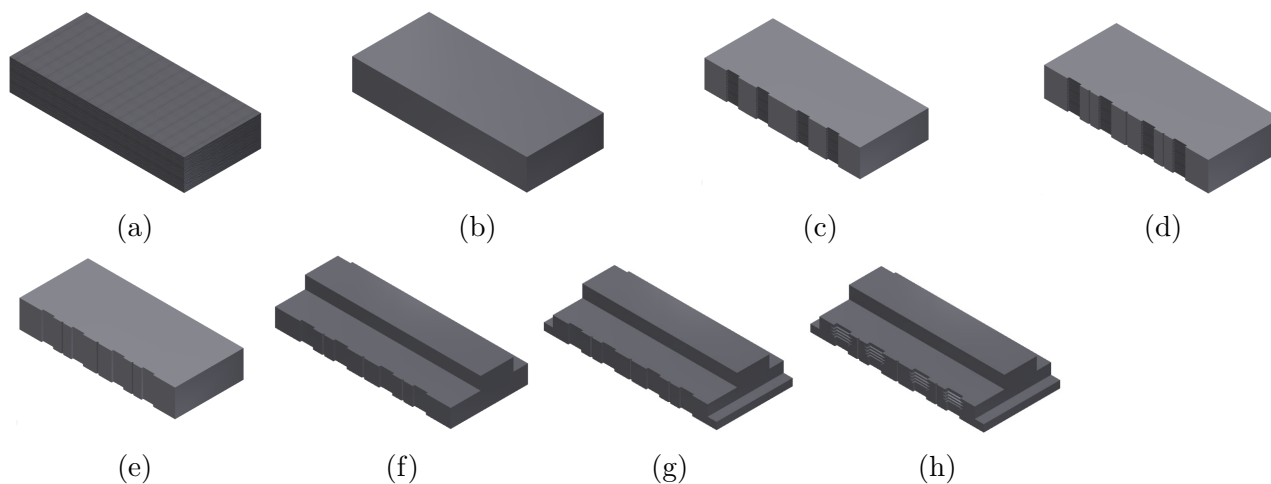


Figura 69: Modelos da conformação da placa deslizante.

### Programa de abertura dos rasgos para pinos amovíveis

Para a maquinação dos rasgos das placas usou-se o centro de maquinação multiferramentas da ESTGA. Para tal foi necessário programar a máquina para executar o pretendido, sendo que a linguagem usada é o código G. De seguida, é apresentado o programa usado para a maquinação dos rasgos.

```
:G0G17  
X0Y0  
M3S1200  
F500  
Z10M8  
G1X-55Y10F500  
Z0
```

Nesta primeira parte do programa, inicia-se o *spindle* (Comando M3) da máquina e coloca-se a ferramenta no centro do rasgo a ser maquinado.

```
(DFS,1)  
G1G91Z-0.15  
G1G90Y40  
X0  
Y-10  
X-4.25  
Y40  
Y-10X4.25  
(ENS)  
(CLS,1,14)  
M2
```

Nesta sub-rotina efetua-se a maquinação das cavidades, neste ciclo a ferramenta desce 0.15mm e executa os movimentos nos eixos X e Y até a ferramenta ter maquinado um rasgo de 14.5mm, o ciclo é retido 14 vezes para obter um rasgo com a profundidade de 2.1mm.

O comando **M2** finaliza o programa sem guardar a ferramenta, deixando-a pronta a ser usada para maquinar os restantes rasgos.

Após a abertura dos rasgos nas placas deslizantes foi realizada a erosão das cavidades.



## 2.3 Maquinação das cavidades

As cavidades do molde, dada a sua complexidade geométrica, só podem ser produzidas por eletroerosão de penetração. Para poderem ser projetados os elétrodos com medidas corretas e maquinar as cavidades, foi necessário aprender a trabalhar com a máquina da ESTGA e realizar uma série de ensaios preliminares de eletroerosão para determinar, em função do acabamento a obter nas cavidades, o GAP, o desgaste dos elétrodos e o tempo de maquinação.

### 2.3.1 Processo de eletroerosão por penetração

A eletroerosão por penetração é um processo que utiliza energia elétrica para remoção de material de uma peça [4]. O material é removido por ação de uma sucessão de descargas elétricas entre um elétrodo e a peça que estão imersos num fluido dielétrico. É necessário, neste processo, que o material a maquinar seja eletricamente condutor.

Neste processo, a forma do elétrodo é reproduzida negativamente na peça, à medida que o elétrodo penetra na peça. As descargas elétricas geram uma quantidade de energia térmica que provoca a fusão e ebulição dos materiais da peça e do elétrodo, dando origem à maquinação das cavidades e ao desgaste dos elétrodos [4]. Na eletroerosão não existe contacto entre o elétrodo e a peça, que estão separados por um intervalo designado GAP, que tem que ser determinado para projetar os elétrodos e obter cotas precisas nas geometrias a maquinar.

A eletroerosão é utilizado na maquinação de geometrias complexas e na execução de cavidades que seriam difíceis de maquinar pelos métodos convencionais. É usado também para maquinar materiais duros, como o metal duro e aços endurecidos por tratamentos térmicos [4].

### 2.3.2 Operação e programação da máquina da ESTGA

A ESTGA possui uma máquina de eletroerosão por penetração da marca Finetech – SA – 300 que está fotografada na figura 70. Algumas características de trabalho desta máquina estão na tabela 11.



Figura 70: Máquina de eletroerosão da ESTGA.

Tabela 11: Características operacionais da máquina de eletroerosão da ESTGA.

Dimensões x e y da mesa de trabalho	600 x 300 mm
Intensidade de corrente máxima	75 A
Deslocamento dos eixos (x e y)	300 x 250 mm
Deslocamento do eixo z	150 mm

Esta máquina possui uma mesa de trabalho para aperto das peças a erodir, com deslocamento x e y manual, o porta eléctrodos, onde se aperta o eléctrodo e que constitui o eixo Z, que pode ser deslocado manual ou automaticamente, e um painel de controlo e programação.

A programação desta máquina pode ser feita manual ou automaticamente em função de vários parâmetros a ter em conta no processo. As variáveis de programação mais importantes são as seguintes:

- Tipo de acabamento a obter nas superfícies erodidas dos materiais, que pode ser: ultrafino, fino, médio e rugoso;
- Tipo de eléctrodo: cobre ou grafite;
- Intensidade de corrente (I);
- Tempo de pausa (OFF T);
- Tempo de erosão (WKT);
- Tensão (V);
- Polaridade (+).

Um dos parâmetros mais importantes é a intensidade de corrente [1]. No caso de se aumentar a intensidade de corrente, mantendo as outras variáveis constantes, aumenta a taxa de remoção do material, diminui o tempo de maquinação, aumenta a rugosidade superficial das cavidades, aumenta o desgaste do eléctrodo e o GAP. A fórmula usada para calcular o GAP é a seguinte:

$$GAP = l_{cavidade} - l_{eletrodo} \quad (2)$$

em que  $l_{cavidade}$  é a dimensão da cavidade e  $l_{eletrodo}$  é a dimensão correspondente do eléctrodo.

Nesta máquina, a intensidade de corrente a usar na eletroerosão é calculada tendo em conta as dimensões do eléctrodo, respetiva área de descarga, para cada um dos acabamentos. Na tabela 12, encontra-se o modo de estimar a intensidade de corrente em função das dimensões do eléctrodo [1].

Tabela 12: Intensidade de corrente em função das dimensões dos eléctrodos [1].

Tamanho do eléctrodo (mm)	5	10	20	25	50	75	100
Área de descarga (mm <sup>2</sup> )	19,6	78,6	314,2	490,9	1963,5	4417,9	7854
Corrente (A)	1-5	5-10	7-15	12-20	15-30	30-40	40-75

Para realizar ensaios preliminares, para ganhar experiência sobre diversos parâmetros de eletroerosão e poder fazer a erosão das cavidades, foi necessário aprender a trabalhar com a



máquina e a ter em conta uma série de regras de preparação de trabalho que constaram em alinhar o eléctrodo e a peça, respetivamente no porta eléctrodos e na mesa, determinar o zero-peça e referenciar o eléctrodo com a peça para erodir as cavidades nas cotas pretendidas. Para executar estes passos, deve proceder-se do seguinte modo:

1. Apertar-se o eléctrodo no porta eléctrodos do eixo **z** da máquina;
2. Alinhar-se o eléctrodo, com o comparador, segundo os eixos de **x**, **y** e **z**.
3. Apertar-se a peça na mesa e alinhou-se com o comparador;
4. Para achar o zero-peça, com o controlo manual da máquina, deve tocar-se com o eléctrodo num dos lados da peça, segundo o eixo **x**;
5. Gravar-se, no painel, como 0 (pressionar-se de seguida **K2 (COND)** + **X** + **0** e **ENT**);
6. No caso de se querer achar o zero no centro da peça, o processo deve repetir-se do lado oposto, segundo o eixo dos **X** (pressiona-se **X** + **F9 (1/2)**);
7. Para achar o zero segundo o eixo dos **Y**, repete-se o mesmo procedimento, substituindo apenas a coordenada;
8. Para determinar o início do trabalho segundo a profundidade (eixo **Z**), deve-se colocar o eléctrodo sobre a superfície do metal a erodir e seleccionar-se a opção de zero automático (pressionar-se **F7 (ZERO)** + **Z** + **0** + **ENT**).

O processo de alinhamento do eléctrodo e da peça é muito importante porque se o eléctrodo não estiver colocado na posição, correta a cavidade erodida não vai ficar bem posicionada e as cotas pretendidas não podem ser obtidas.

Para a programação da máquina, em modo automático, são seleccionados 3 parâmetros: profundidade da cavidade (*Depth*), intensidade de corrente (*Cur*) e acabamento. Na figura 71 apresenta-se um programa tipo.

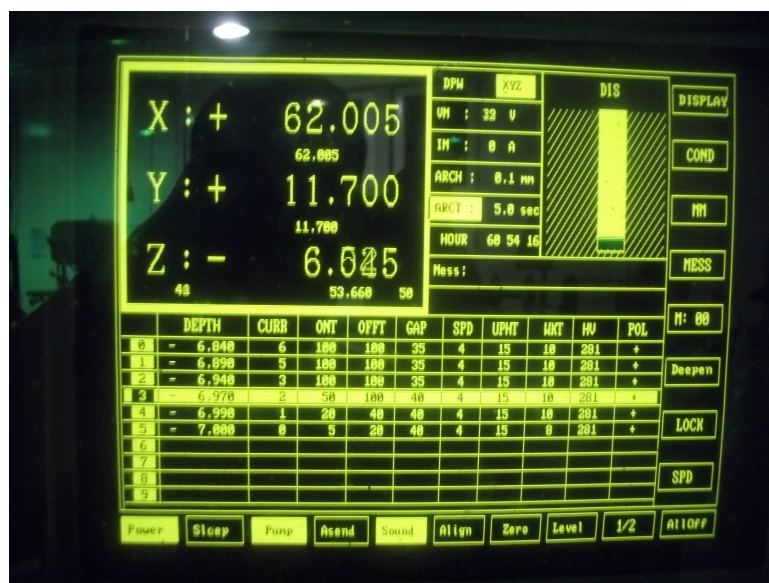


Figura 71: Programa tipo para realização de eletroerosão.

Para fazer um programa como o anterior deve proceder-se do seguinte modo:

1. Deslocar-se o cursor, na coluna **DEPTH**, até à linha 9 e digitar-se a profundidade pretendida (a profundidade tem sinal negativo devido à referência da máquina no eixo **Z**);
2. Digitar-se a intensidade de corrente calculada, na **linha 0** na coluna **CURR**;
3. Escolher com base no tipo de eléctrodo (grafite ou cobre), o tipo de acabamento: rugoso, médio, fino ou ultrafino;

Todos os outros parâmetros são automaticamente preenchidos pela máquina, incluindo o número de passos em que se desenrola o processo.

O processo de aprendizagem baseou-se no trabalho executado.

### 2.3.3 Ensaios de eletroerosão

Depois de se ter aprendido a operar e a programar autonomamente a máquina, realizaram-se uma série de ensaios preliminares antes de erodir as cavidades do molde, estes ensaios foram realizados com eléctrodos de cobre de secção quadrada e constaram em erodir cavidades com diferentes acabamentos finais e profundidades.

A partir dos resultados obtidos nos ensaios, projetaram-se e maquinaram-se eléctrodos com a geometria necessária para maquinar as cavidades do molde. Ainda antes de iniciar a eletroerosão final das cavidades, realizou-se, com estes eléctrodos, a erosão de duas cavidade num bloco de aço pré-tratado 1.2378 com as cavidades pré-maquinadas por fresagem para simular a erosão real das cavidades. As cotas e o acabamento destas cavidades erodidas foram avaliadas conformando, nas cavidades obtidas, um material polimérico e medindo as peças obtidas deste modo. Este material não tem contração e por isso é possível avaliar as cotas das cavidades erodidas. O acabamento foi também avaliado por observação direta da rugosidade superficial das cavidades e comparando com o acabamento da superfície das peças de PP fornecidas como amostras.

#### Ensaios preliminares

Foram realizados três ensaios preliminares com acabamento rugoso (ensaio 1), acabamento médio (ensaio 2) e acabamento ultrafino (ensaio 3). Em cada ensaio controlaram-se as dimensões e acabamento das cavidades produzidas, as dimensões dos eléctrodos, calculando-se o seu desgaste, mediu-se o GAP e o tempo despendido em cada operação. Comparou-se também o acabamento obtido com a peça que serviu de amostra para seleccionar o mais adequado.

Nestes ensaios usou-se sempre o mesmo eléctrodo de cobre. Antes da realização de cada ensaio, o eléctrodo foi medido com um micrómetro. Na tabela estão as medidas iniciais do eléctrodo de secção quadrada.

Tabela 13: Medidas do eléctrodo utilizado nos ensaios de acabamento.

Eléctrodo de Cobre	
Largura (mm)	24,875
Altura (mm)	17,780

As tabelas 14, 15 e 16 mostram os programas de eletroerosão utilizados para obter os acabamentos. As variáveis que estão marcadas com um \* são programadas manualmente. As outras são geradas pela máquina.

Tabela 14: Ensaio 1 - acabamento rugoso.

Passo	Depth (mm)	Cur (A)	ONT ( $\mu$ s)	OFFT ( $\mu$ s)	GAP (V)	SPD (%)	UPHT (1/10mm)	WKT (1/10s)	HV (V)	POL (+/-)
0	-0.8	20*	400	250	35	4	15	30	281	+
1	-0.9	20	400	250	35	4	15	30	281	+
2	-1*	14	200	150	35	4	15	30	281	+

Tabela 15: Ensaio 2 - acabamento médio.

Passo	Depth (mm)	Cur (A)	ONT ( $\mu$ s)	OFFT ( $\mu$ s)	GAP (V)	SPD (%)	UPHT (1/10mm)	WKT (1/10s)	HV (V)	POL (+/-)
0	-0,68	20*	400	250	35	4	15	30	281	+
1	-0,78	20	400	250	35	4	15	30	281	+
2	-0,88	14	200	150	35	4	15	20	281	+
3	-0,95	9	100	160	40	4	15	15	281	+
4	-1*	6	40	120	40	4	15	10	281	+

Tabela 16: Ensaio 2 - acabamento ultrafino.

Passo	Depth (mm)	Cur (A)	ONT ( $\mu$ s)	OFFT ( $\mu$ s)	GAP (V)	SPD (%)	UPHT (1/10mm)	WKT (1/10s)	HV (V)	POL (+/-)
0	-0,6	20*	400	250	35	4	15	30	281	+
1	-0,7	20	400	250	35	4	15	30	281	+
2	-0,8	14	200	150	35	4	15	20	281	+
3	-0,87	9	100	160	40	4	15	15	281	+
4	-0,92	6	40	120	40	4	15	10	281	+
5	-0,95	4	20	60	40	4	15	10	281	+
6	-0,97	2	10	30	40	4	15	10	281	+
7	-0,99	1	5	20	40	4	15	8	281	+
8	-1*	0	5	20	40	4	15	7	281	+

Na figura 72 apresentam-se as fotografias das cavidades erodidas e o tipo de acabamento obtido ( A - rugoso; B – médio; C – ultrafino).

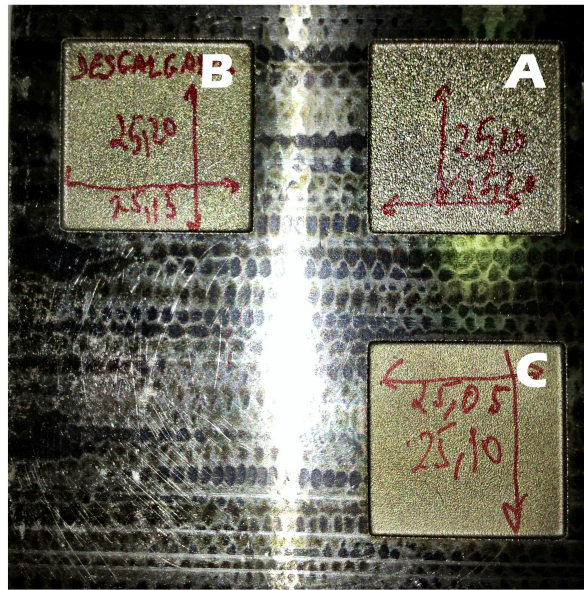


Figura 72: Resultados dos ensaios preliminares.

Pela observação direta das cavidades, pode concluir-se que o acabamento obtido mais semelhante ao que é pretendido na peça de PP é o das cavidades de erosão obtidas com o acabamento ultrafino.

Pode concluir-se também que a superfície de cavidade é mais rugosa com as condições programadas para obter um acabamento rugoso. O melhor acabamento superficial das cavidades é obtido com as condições que geram o acabamento ultrafino.

Na tabela 17 apresentam-se outros resultados destes ensaios.

Tabela 17: Resultados dos ensaios realizados.

Ensaio	Cotas iniciais		Cotas finais		Cotas cavidade		GAP (mm)	Tempo (h:m)
	Elétronodo (mm)		elétronodo (mm)		(mm)			
1- Acaba. Rugoso	X	24,875	X	24,870	X	25,200	0,325	0:15
	Y	24,875	Y	24,870	Y	25,200		
	Z	17,780	Z	17,760	Z	1,000		
1- Acaba. Médio	X	24,870	X	24,860	X	25,150	0,280	0:25
	Y	24,870	Y	24,860	Y	25,200		
	Z	17,760	Z	17,760	Z	1,000		
1- Acaba. Ultrafino	X	24,860	X	24,840	X	25,050	0,190	0:40
	Y	24,860	Y	24,835	Y	25,100		
	Z	17,760	Z	17,750	Z	1,000		

Com base no resultados da tabela 17, podem tirar-se ainda as seguintes conclusões:

1. O tempo de eletroerosão aumenta com as condições de ensaio que permitem obter um acabamento sucessivamente mais fino. Para erodir as cavidades com acabamento rugoso (ensaio 1), são necessários 15 minutos e, para erodir as cavidades com acabamento ultrafino (ensaio 3), 40 minutos.
2. O GAP aumenta com as condições de eletroerosão necessárias para obter um acabamento sucessivamente mais rugoso. Com as condições de eletroerosão para acabamento rugoso,

obtém-se um GAP de 0,325mm e com as condições de acabamento ultrafino um GAP de 0,190mm.

3. O desgaste do eletrodo aumenta sucessivamente com as condições de erosão desde o acabamento o rugoso até ao ultrafino. Com o ultrafino obtém-se um desgaste de 0,02 mm e com o rugoso de 0,005 mm.

A conclusão obtida no ponto 3 não está de acordo com o esperado, que seria um desgaste menor no acabamento mais fino. Isto pode dever-se ao facto do eletrodo não ter ficado perpendicular à superfície a erodir aquando da realização dos ensaios 2 e 3. A consequência pode ter sido a ocorrência de desgaste desigual e maior do eletrodo do que seria previsto. Em condições normais, o maior desgaste deve verifica-se com intensidade de corrente mais elevada e com acabamento mais rugoso.

### Ensaio com maior profundidade

Uma vez entendidas quais são as condições de eletroerosão necessárias para obter o tipo de acabamento pretendido para a peça, achou-se necessário perceber como fica o acabamento da peça em toda a sua superfície (lateral e topo) e determinar o GAP com uma profundidade de erosão maior. Para isso, realizou-se mais um ensaio erodindo com uma cavidade com 5mm de profundidade, para analisar o acabamento das paredes e do fundo.

Este ensaio foi feito em duas fases: uma fase inicial de desbaste seguida de acabamento. De referir que a profundidade inicial prevista, que era de 5mm, foi aumentada para 5,2 mm para poder dar o excesso de material para acabamento. Esta alteração foi devida a não se ter deixado inicialmente excesso para acabamento.

Os programas destes ensaios estão nas tabelas 18 e 19.

Tabela 18: Programa de desbaste no ensaio em profundidade.

Passo	Depth (mm)	Cur (A)	ONT ( $\mu$ s)	OFFT ( $\mu$ s)	GAP (V)	SPD (%)	UPHT (1/10mm)	WKT (1/10s)	HV (V)	POL (+/-)
0	-4,9*	20*	400	250	35	4	15	30	281	+

Tabela 19: Programa de acabamento no ensaio em profundidade.

Passo	Depth (mm)	Cur (A)	ONT ( $\mu$ s)	OFFT ( $\mu$ s)	GAP (V)	SPD (%)	UPHT (1/10mm)	WKT (1/10s)	HV (V)	POL (+/-)
0	-5,120	2*	100	100	35	4	15	20	281	+
1	-5,150	2	100	100	35	4	15	20	281	+
2	-5,170	1	40	80	35	4	15	14	281	+
3	- 5,185	1	10	30	40	4	15	12	281	+
4	- 5,195	1	5	20	40	4	15	10	281	+
5	-5,200*	0	5	20	40	4	15	6	281	+

Na figura 73 apresenta-se o resultado obtido.





Figura 73: Resultado do ensaio com profundidade de 5 mm.

O GAP neste ensaio é apresentado na tabela 20.

Tabela 20: GAP do ensaio com maior profundidade.

Cotas Eléctrodo (mm)	Cotas cavidade (mm)	GAP (mm)	Tempo (h:m)
X=24,940	X=25,290	0,350	5:27

Neste ensaio foi possível visualizar que o acabamento na cavidade não é uniforme. Nas paredes da cavidade, o acabamento é muito mais rugoso do que no fundo da cavidade. A explicação possível para esta diferença deve-se ao facto da fase de acabamento efetivo só ser realizada no fundo da cavidade porque o eléctrodo só se desloca em Z e reserva, segundo este eixo, excesso para aplicar o acabamento e eliminar o fundo rugoso deixado pelas condições de desbaste anteriores. Nas paredes não é possível eliminar o acabamento rugoso porque o eléctrodo não se desloca lateralmente.

### Ensaio para obter acabamento uniforme

Com base nos resultados obtidos nos ensaios anteriores, tentou-se encontrar alternativas para obter um acabamento uniforme nas paredes laterais e no fundo da cavidade. Foram propostas duas alternativas:

1. Eletroerosão com dois eléctrodos, um para desbaste e um para acabamento.
2. Realizar a erosão de acabamento de uma cavidade com a introdução de uma peça de aço com a altura da profundidade pretendida (exemplo: cabeça de um parafuso).

No primeiro caso, deveriam produzir-se dois eléctrodos: O primeiro com uma área menor do que a pretendida, para retirar o excedente da cavidade, realizando desbaste; o segundo, ligeiramente maior, que removesse, em modo de acabamento ultrafino, a porção erodida com acabamento rugoso, para produzir um acabamento igual em toda cavidade.

A alternativa testada foi a segunda. Constatou-se em introduzir a cabeça de um parafuso com as dimensões da profundidade que se pretende obter na cavidade já desbastada. O objetivo deste



ensaio era permitir que o programa de acabamento atuasse mais tempo nas paredes enquanto o eletrodo estivesse a erodir a peça introduzida na cavidade.

As dimensões do eletrodo utilizado estão na tabela 21 e na tabela 22 mostra-se a programação do desbaste para este teste.

Tabela 21: Medidas iniciais do eletrodo para o ensaio de acabamento uniforme.

Eletrodo	
Largura (mm)	24,85
Comprimento(mm)	24,91

Tabela 22: Programa de desbaste para o ensaio de acabamento uniforme.

Passo	Depth (mm)	Cur (A)	ONT ( $\mu$ s)	OFFT ( $\mu$ s)	GAP (V)	SPD (%)	UPHT (1/10mm)	WKT (1/10s)	HV (V)	POL (+/-)
0	-4,5*	20*	400	250	35	4	15	30	281	+

Para a realização do acabamento, foi utilizada inicialmente a cabeça de um parafuso do tamanho da cavidade obtida do desbaste. Porém, devido a um erro da máquina durante a execução do acabamento, foi necessário substituir esta peça que auxiliava o acabamento. Foi então utilizado um perfil quadrado de aço oco para revestir interiormente a cavidade.

O programa utilizado para o acabamento foi o da tabela 23.

Tabela 23: Programa utilizado para o acabamento no ensaio de acabamento uniforme.

Passo	Depth (mm)	Cur (A)	ONT ( $\mu$ s)	OFFT ( $\mu$ s)	GAP (V)	SPD (%)	UPHT (1/10mm)	WKT (1/10s)	HV (V)	POL (+/-)
0	-4,84	6*	200	100	35	4	15	30	281	+
1	-4,89	5	200	100	35	4	15	30	281	+
2	-4,94	3	100	100	35	4	15	20	281	+
3	-4,97	2	50	100	40	4	15	10	281	+
4	-4,99	1	20	40	40	4	15	10	281	+
5	-5*	0	5	20	40	4	15	8	281	+

A cavidade obtida neste ensaio é visível na figura 74.

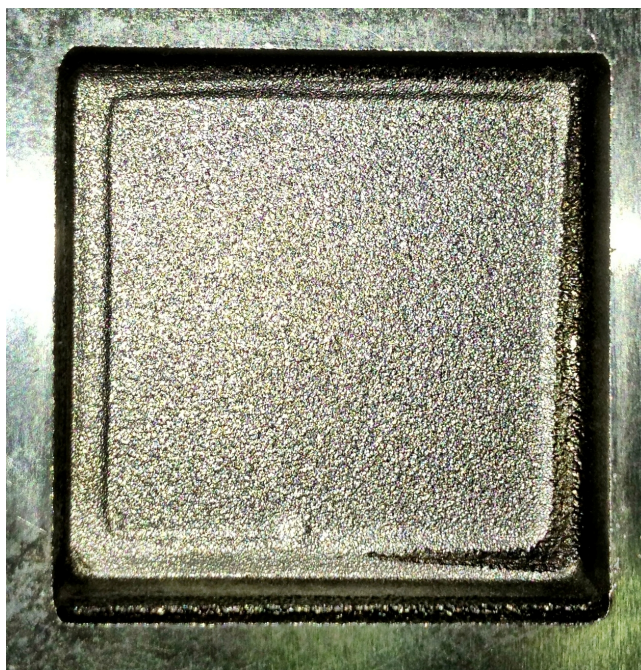


Figura 74: Cavidade obtida no ensaio de acabamento uniforme.

Os resultados obtidos neste ensaio não foram satisfatórios. O acabamento em toda a superfície da cavidade melhorou em comparação com obtido no ensaio anterior, mas não se obteve um acabamento uniforme. Este é ainda um processo moroso, tendo sido realizado em cerca de oito horas (7h47m).

### Conclusões dos ensaios

Os resultados obtidos nestes ensaios permitiram os seguintes ensinamentos e conclusões:

1. Com este tipo de máquina em que o deslocamento do eletrodo só se faz segundo o eixo Z, foi difícil obter um acabamento uniforme em toda a superfície da cavidade quando se pretendem obter acabamentos finos.
2. A erosão das cavidades é muito morosa, principalmente quando se pretendem acabamentos finos, isto pode dar origem a desgaste excessivo dos eletrodos e originar dimensões diferentes nas cavidades e nas peças de PP obtidas por injeção. Se tal acontecer, significa que se teriam de produzir vários eletrodos para erodir as cavidades do molde.
3. A forma final da cavidade a erodir deve ser aproximada o mais possível por fresagem, a que se deve seguir a erosão com eletrodo específico da parte das cavidades que originam as alhetas da peças de PP.
4. O acabamento a usar na erosão das cavidades é o ultrafino.

Dadas as conclusões anteriores, pensou em fazer-se uma aproximação à cavidade por fresagem, de modo a pré-maquinar o corpo das alhetas, e depois erodir, com um eletrodo apropriado e projetado, a parte das alhetas da peça.

#### 2.3.4 Eletroerosão das cavidades

Para que a peça de PP fique com alhetas na periferia, é necessário a realização de um eletrodo de cobre com a geometria para erodir as alhetas nas cavidades do molde. O eletrodo que se pretende fabricar está representado na figura 75.

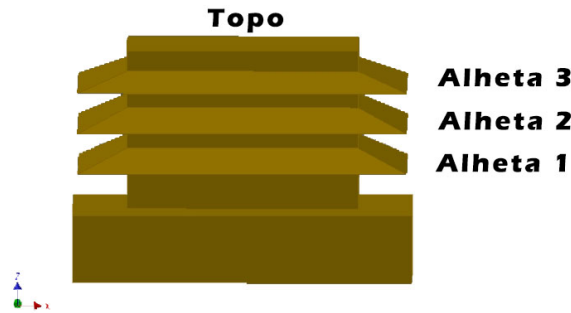


Figura 75: Modelo do eléctrodo de cobre para erodir as alhetas nas cavidades.

Para fabricar este eléctrodo, cortou-se um bloco de cobre de secção quadrada, a partir de uma barra, colocou-se à esquadria, desbastou-se para as medidas pretendidas e fresaram-se as alhetas com uma fresa especial, que foi fabricada para o efeito.

### Fabricação do eléctrodo

Devido a complexidade das alhetas foi necessário criar uma fresa com o perfil adequado para maquinar a zona das alhetas no eléctrodo. A figura 76 ilustra o modelo aproximado da fresa construída.

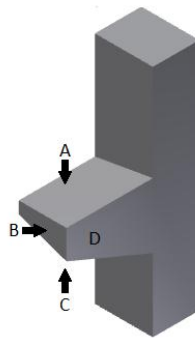


Figura 76: Fresa com o perfil adequado para maquinar as alhetas no eléctrodo de cobre.

Para se obter esta fresa usou-se como base uma pastilha de metal duro de perfil triangular. Nesta pastilha perfilou-se e afiou-se manualmente na máquina de retificação universal da ESTGA, primeiro, a face que vai dar origem à inclinação na alheta (figura 76 - C) e, depois, as outras duas faces de saída (figura 76 - A,B), até se obter o perfil pretendido (figura 76 - D) que corresponde à face de ataque.

Ao longo do processo de perfilagem da pastilha de corte foi-se comparando visualmente a pastilha com as alhetas da peça de plástico original. Este processo teve que ser manual, porque não existia disponível nenhum outro método mais preciso. A figura 77 ilustra esta comparação feita entre a peça de plástico e a pastilha de corte, bem como a forma como a pastilha se vai dispor para maquinar o cobre. É de salientar que esta ferramenta ao maquinar a inclinação da alheta também maquina a parte inferior da alheta superior.

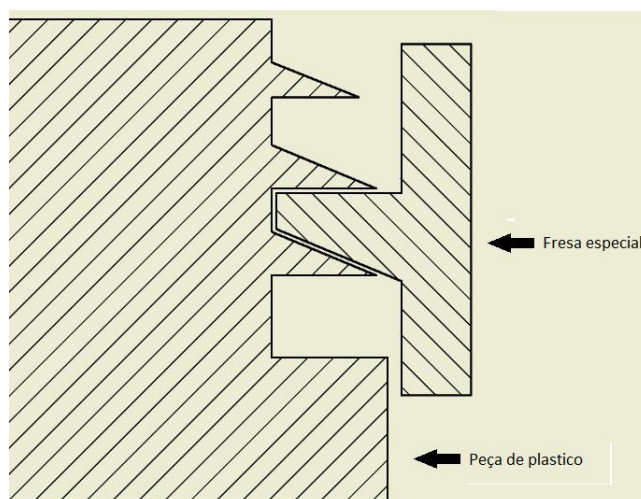


Figura 77: Comparação entre a pastilha usada e a peça de plástico.

É de salientar que esta ferramenta ao maquinar a inclinação da alheta também maquina a parte inferior da alheta superior.

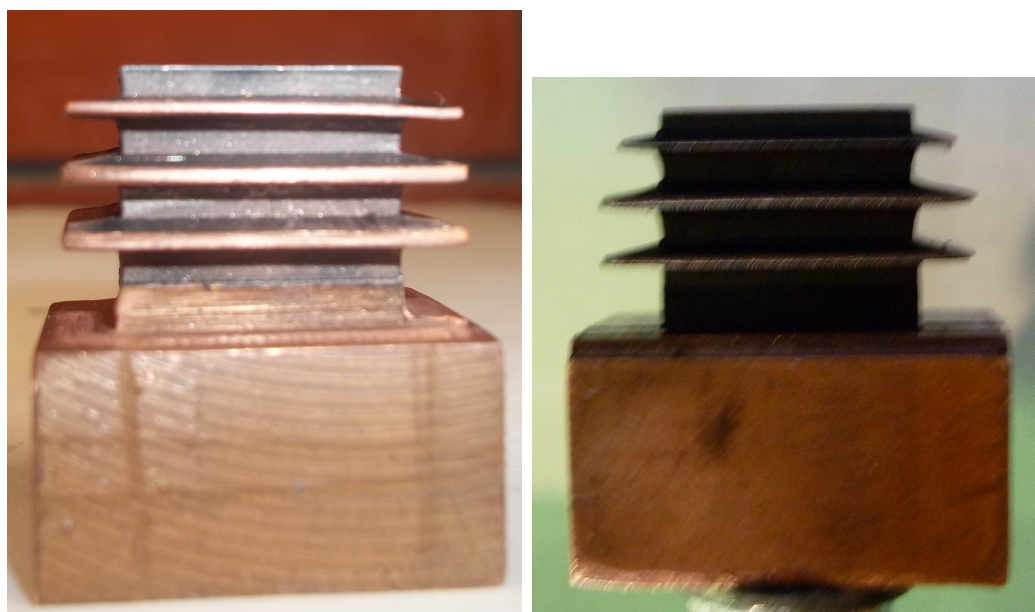
A fresagem das alhetas com esta fresa foi feita com uma rotação de 1100 rpm, avanço manual e penetramento 0,1 mm por passagem. Fizeram-se inúmeras passagens muito cuidadosamente. A refrigeração foi feita com petróleo. As cotas do eléctrodo foram controlados várias vezes durante a fresagem.

A sequencia de maquinação envolvida na construção do eléctrodo resume-se na tabela 24.

Tabela 24: Plano de fabrico do eléctrodo de cobre com alhetas.

Nº	Operação	Máquina	Ferramenta
1	Colocar o cobre à esquadria	Fresadora universal	Roca de 7 pastilhas de metal duro (geometria triangular) com diâmetro de 80mm
2	Desbaste do bloco	Fresadora ferramenteira	Fresa de metal duro de diâmetro 8 mm
3	Fresagem das alhetas	Fresadora ferramenteira	Fresa especial

Seguindo este procedimento, maquinaram-se dois eléctrodos (1 e 2). As figuras 78a e 78b mostram os eléctrodos maquinados. Na tabela 25 estão as cotas dos eléctrodos, medidas nas diversas alhetas, numeradas na figura 75.



(a) Eletrodo 1.

(b) Eletrodo 2.

Figura 78: Eléttodos maquinados.

Tabela 25: Cotas dos eléctrodos 1 e 2.

Eléttrodo	Alheta 1(mm)	Alheta 2(mm)	Alheta 3(mm)	Topo(mm)
1	24,400	24,400	24,400	17,200
2	24,000	24,000	21,700	16,800

As cotas dos eléctrodos foram calculadas a partir das cotas da peça de PP, a partir da contração do plástico (1%) e do GAP da eletroerosão estimado para o acabamento ultrafino (1%). Como o GAP é igual à contração e um anula o outro, definiram-se as cotas do eléctrodo iguais às cotas da peça de PP. Isto dá origem a cavidades 1% maiores do que o eléctrodo.

O eléctrodo da tabela 25 que respeita as cotas da peça e da cavidade é o eléctrodo **2**. Estes dois eléctrodos foram utilizados em mais dois ensaios que se apresentam a seguir.

### Ensaio de eletroerosão das cavidades

Antes de erodir as cavidades no molde, fizeram-se mais dois ensaios em blocos de aço pré-tratado com rasgos pré-maquinados semelhantes ao corpo da peça de PP. Os programas da erosão foram iguais (tabela 26) e com acabamento ultrafino.

Tabela 26: Programa de erosão das cavidades com alhetas.

Passo	Depth (mm)	Cur (A)	ONT ( $\mu$ s)	OFFT ( $\mu$ s)	GAP (V)	SPD (%)	UPHT (1/10mm)	WKT (1/10s)	HV (V)	POL (+/-)
0	-3,60	5*	100	100	35	4	15	10	281	+
1	-6,84	6*	100	100	35	4	15	10	281	+
2	-6,89	5	100	100	35	4	15	10	281	+
3	-6,94	3	100	100	35	4	15	10	281	+
4	-6,97	2	50	100	40	4	15	10	281	+
5	-6,99	1	20	40	40	4	15	10	281	+
6	-7,00*	0	5	20	40	4	15	8	281	+

Durante o ensaio limpavam-se várias vezes os eléctrodos e as cavidades para obter um bom acabamento final. O aumento da intensidade de corrente de 5 para 6 A, entre o passo '0' e '1' deve-se ao aumento de área quando toda a superfície do eléctrodo entra em contacto com o aço. Como existiu uma pré-maquinação, fazendo rasgos paralelos de 3,6 mm de profundidade, até se atingir essa cota, a erosão é feita apenas nas zonas laterais. Quando toda a superfície do eléctrodo incide no bloco, a corrente subiu para 6 A.

### Ensaio com o eléctrodo 1

Na figura 79a apresenta-se a cavidade produzida pelo eléctrodo 1 e na figura 79b o respetivo ensaio com material moldado.

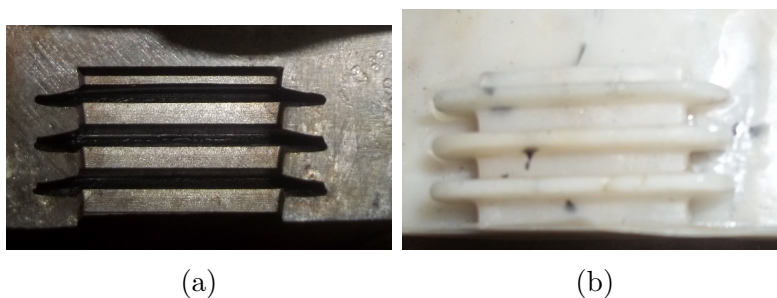


Figura 79: Ensaio com o eléctrodo 1: a)cavidade; b)Polímero moldado pela cavidade.

As cotas deste molde são superiores às pretendidas. Por isso, optou-se pelo eléctrodo 2.

### Ensaio com o eléctrodo 2

A geometria do bloco de aço usado neste ensaio está na figura 80.



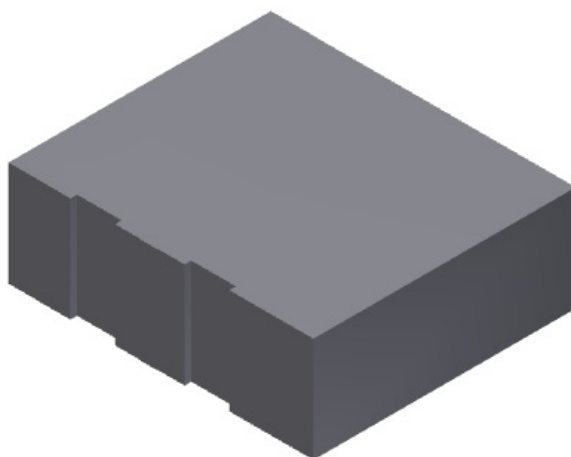


Figura 80: Bloco para ensaio de erosão de 2 cavidades.

Os resultados do ensaio está nas figuras 81.



Figura 81: Resultados do ensaio de erosão com o elétron 2: a) Cavidade resultante; b) Peça moldada pela cavidade.

A peça moldada está de acordo com as cotas pretendidas para as cavidades.

### Erosão das cavidades nas placas deslizantes

A operação que termina o trabalho em eletroerosão é a realização da erosão das 8 cavidades nas placas deslizantes. Com base nos ensaios desenvolvidos até esta fase, decidiu-se que apenas um elétron poderia ser suficiente para a erosão de todas as cavidades.

Antes de iniciar o trabalho de erosão, foi colocado às cotas necessárias com um trabalho manual de bancada usando lixa fina, a seguir foi medido o elétron para avaliar qual o desgaste a que esteve sujeito ao longo do trabalho de erosão das 8 cavidades.

Um cuidado na erosão das cavidades prendeu-se com o posicionamento do elétron em relação às cavidades. Com base no desenho apresentado da placa deslizante (figura 82) e, tendo em que conta que se marcou a coordenada  $X=0$  ao centro da placa, as cotas que se usaram estão apresentadas na figura 82.

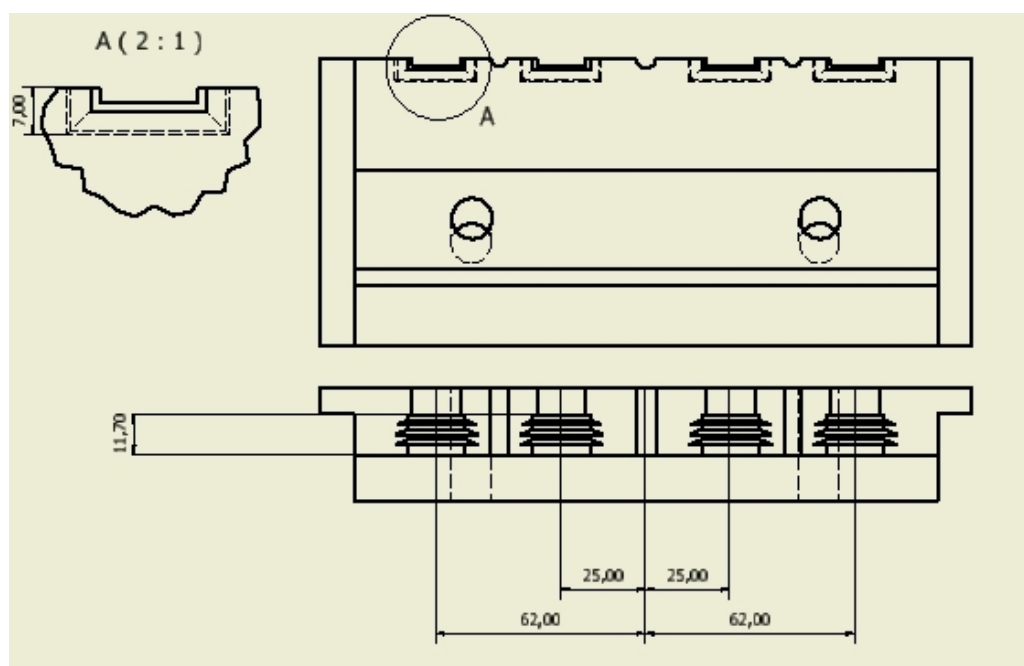


Figura 82: Coordenadas das cavidades para posicionamento do eletrodo.

O deslocamento do eletrodo em relação ao eixo **Y** é **11.7mm** e ao **Z** é **7mm**(profundidade). Na figura 83 apresenta-se o resultado final das cavidades numa placa.

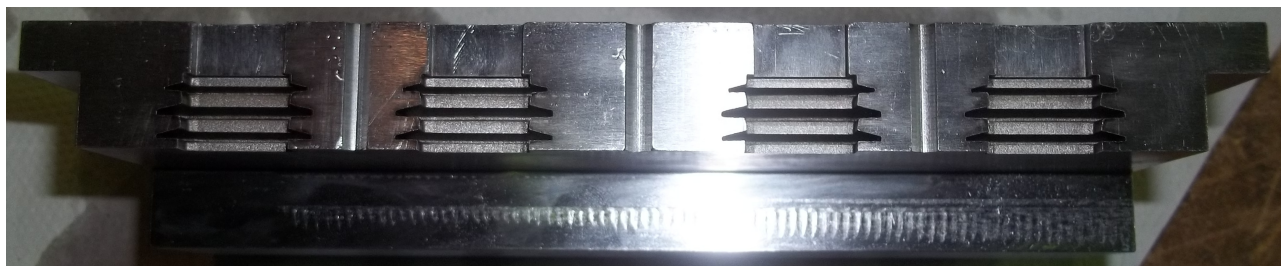


Figura 83: Resultado da erosão das cavidades nas placas deslizantes.

Na tabela 27 representa-se as cotas iniciais e finais do eletrodo, nas diversas alhetas. O programa de erosão foi o mesmo que se utilizou nos ensaios anteriores (tabela 26).

Tabela 27: Cotas do eletrodo no inicio e fim da erosão.

Cotas	Alheta 1(mm)	Alheta 2(mm)	Alheta 3(mm)	Topo(mm)	Cota Frontal(mm)
Inicias	24,000	24,000	21,800	16,700	13.7
Finais	24,000	24,000	21,800	16,700	13.165

Como é possível verificar, existe desgaste no eletrodo na sua cota frontal, sendo desprezável nas zonas laterais. Isto acontece, porque a erosão é feita sobretudo em profundidade.

Para cada cavidade foram recolhidos dados por forma a entender os resultados obtidos na erosão de cada uma. Os resultados do tempo despendido e do desgaste do eletrodo estão apresentados na tabela 28.

Tabela 28: Dados sobre a eletroerosão.

Cavidade	Tempo (h:m:s)	Desgaste do eletrodo (mm)
1	3:30:57	-0,060
2	3:28:05	-0,065
3	3:03:54	-0,090
4	3:40:25	-0,020
5	3:10:22	-0,070
6	3:07:35	-0,200
7	3:15:05	-0,030
8	3:34:39	-0,03
Total	26:51:02	-0.565

Pode verificar-se que o desgaste frontal é elevado. O desgaste do eletrodo em cada cavidade foi compensado, programando o valor 0 do eixo **Z** no início da erosão de cada cavidade. A geometria das cavidades vai ser avaliada por ensaios de injeção reais.

### 3. Conclusões e trabalho futuro

Este projeto teve como objetivo principal reparar um molde, com 4 cavidades moldantes, que produzia peças, em polipropileno com defeitos (rebarbas). O molde para ser reparado foi fornecido assim como as peças produzidas com rebarbas. Foi também fornecida uma peça original perfeita.

Em primeiro lugar, analisaram-se os motivos que poderão dar origem às rebarbas, analisando o funcionamento do molde e a zona das rebarbas nas peças com defeitos. Foi suposto que as rebarbas seriam originadas pela falta de aperto, durante a injeção do plástico, nas duas placas moldantes. Resolveu construir-se duas placas moldantes novas para substituir as originais. Para construir as placas foi fornecido um aço pré-tratado 1.2378 (PM-300).

Para a execução deste trabalho, fez-se uma revisão sobre comportamento dos plásticos, dos aços e, como já foi referido, do funcionamento do molde.

Dado que o perfil das zonas moldantes é complexo, decidiu-se maquinar por eletroerosão de penetração, foram maquinados elétrodos de cobre de geometria complexa e, após a realização de vários ensaios preliminares, foram erodidas as 4 cavidades das duas placas.

As placas de aço fornecidas, antes da erosão das cavidades, foram maquinadas por fresagem convencional nas fresadoras convencionais e no centro de maquinaria.

Antes da maquinaria, as duas placas, as zonas moldantes, as peças com defeitos e a original foram medidas e realizados desenhos à mão e por computador, necessários para fabricar as placas.

Após a realização da eletroerosão, falta avaliar se as cotas obtidas nas cavidades do molde têm as cotas desejadas para fabricar as peças. Esta análise vai ser feita numa fase de testes de injeção, a realizar em breve.

No ponto atual do projeto, resta ainda maquinar o ângulo das placas que permitem assegurar o seu fecho na injeção, os furos para a refrigeração e os furos das guias inclinadas. Espera-se conseguir esse objetivo antes da defesa do projeto, concluindo assim todos os objetivos que foram propostos ao grupo de trabalho.

# Bibliografia

- [1] *Manual da máquina de eletroerosão.*
- [2] J. Carreira A. Correia da Luz. *Ensaaios Mecânicos.* Instituto de Soldadura e Qualidade, 1992.
- [3] Luís Sousa Arlindo Silva, João Dias. *Desenho técnico moderno.* Edição Lidel, 2<sup>a</sup> edition.
- [4] Ferramentas Especiais e Plásticos Centimfe Centro Tecnológico da Indústria de Moldes. *Manual do projectista para moldes de injeção de plásticos,* 2003.
- [5] F. RAMADA Aços e Indústrias. *Catálogo de aços F. RAMADA.*
- [6] José Manuel de Simões Morais. *Desenho técnico.*
- [7] David G. Rethwisch and William D. Callister. *Fundamentals of Materials Science and Engineering - An Integrated Approach.* JOHN WILEY & SONS, INC., 2008.
- [8] Antera V. Seabra. *Metalurgia Geral,* volume Vol. III. LNEC.
- [9] William F. Smith. *Principios de ciencia e engenharia dos materiais.* MCGRAW-HILL, 1996.
- [10] Thyssen. *Aços de moldes para plásticos,* 3<sup>a</sup> edição edition.