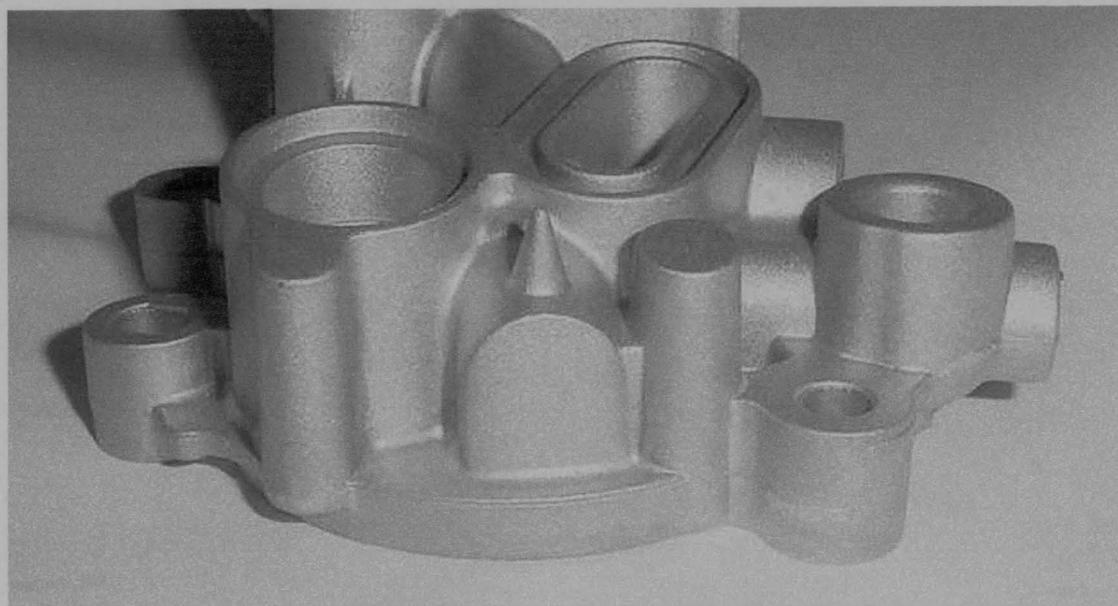




FEUP Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

RELATÓRIO DO PROJECTO DE FIM DE CURSO



LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA
OPÇÃO TECNOLOGIAS DE MOLDAÇÃO POR
INJECCÃO

sonafi EURALCOM
Group

(Sociedade Nacional de Fundição Injectada)

Realizado por:

João Miguel Correia Pedro

Supervisores:

Eng.º Filipe Villas Boas

Eng.º Pedro Cardoso

621(047.3)
LEM 2002/PEDj

Porto
2003



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu



Mais Educação

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

RELATÓRIO DO PROJECTO DE FIN

INSTRUMENTO

INSTRUMENTO DE CRIAÇÃO DE UM

PROJETO DE CRIAÇÃO DE UM

PROJETO

PROJETO

621 (047.3) / LEM 2002 / PEDJ

Universidade do Porto Faculdade de Engenharia Biblioteca
Nº 90013
CDU 678.027 (047.3)
Data 22/05/2007

Agradecimentos

Ao longo dos quatro meses que estagiei na SONAFI, quer na Secção de Ferramentas, no Laboratório de Metrologia e no Departamento Técnico Comercial muitas foram as pessoas que se disponibilizaram ajudar-me, a essas mesmas pretendo apresentar os meus maiores agradecimentos.

Não posso deixar de agradecer à direcção da SONAFI por todo o apoio prestado ao longo do estágio;

Ao Eng.º Pedro Cardoso – como orientador da SONAFI – e ao Eng.º Filipe Villas Boas - como orientador da FEUP – pela vossa colaboração e transmissão de conhecimentos;

Ao Sr. Jofre Pedro, Eng.º João Pinto, Eng.º Bernardo Cardoso, Eng.º Nuno Brito, Eng.º Pedro Sampaio, Eng.º Luís, Sr. José Maria, Sr. José António, Sr. Simões, Sr. Ferraz, Sra. Marta Bastos, Sra. Sofia, Sr. Victor, Sr. Bruno Sousa, Sr. Almeida por toda a disponibilidade e colaboração prestada durante este estágio.

Índice

1 – Introdução.....	3
2 – Descrição da Empresa.....	4
2.1 – Localização.....	4
2.2 – História.....	4
2.3 – Estrutura Organizativa da Empresa	6
2.4 – Matérias-primas, Produtos e Mercados.....	6
2.5 – Investimentos, Vendas e Previsões	9
2.6 – Equipamentos e Capacidade de Produção.....	12
2.7 – Métodos de Produção.....	15
2.7.1 – Células Automáticas.....	15
2.7.2 - Células Semi-Automáticas.....	19
3 – Estágio na Secção de Manutenção e Reparação de Ferramentas.....	21
3.1 – Parque de Máquinas	21
3.1.1 - Rectificadora Cilíndrica.....	22
3.1.2 - Rectificadora de Planos	22
3.1.3 – Prensa de Ajuste de Moldes	23
3.1.4 – Fresadoras	24
3.1.5 – Máquina de Electroerosão	25
3.1.6 – Pantógrafo.....	26
3.1.7 – Furadoras	26
3.1.8 – Torno Mecânico	27
3.1.9 – Máquina de Lavar.....	27
3.1.10 – Máquina de Jacto de Areia.....	28
3.2 – Máquinas de Soldadura.....	29
3.2.1 – Soldadura com Eléctrodo Revestido	29
3.2.2 – Soldadura Tig.....	29
3.2.3 – Soldadura com Oxiacetileno.....	30
3.3 – Equipamentos auxiliares.....	31
3.3.1 – Rectificadora Pneumática	31
3.3.2 – Limas de Diamante	32
3.3.3 – Ponte.....	32
3.3.4 – Rockilizer.....	33
3.3.5 – Outros	34
3.4 – Manutenções e Reparações mais Frequentes.....	34
3.4.1 – Reparação de cortantes	34
3.4.2 – Manutenção e Reparações de Moldes	37
3.4.2.1 – Desgaste na Zona de Ataque.....	37
3.4.2.2 – Desgaste da Cavidade na Zona próxima ao Ataque.....	38
3.4.2.3 – Empeno e Quebra de Pernos Moldantes	39
3.4.2.4 – Fadiga Térmica	41
3.4.2.5 – Quebra dos Casquilhos e Inserções de Impacto.....	42
3.4.2.6 – Reparações no Sistema Hidráulico.....	42
3.4.2.7 – Limpeza do Molde	43
3.4.2.8 – Assistência ao Molde na Máquina de Injecção.....	44
4 – Estágio no Laboratório de Metrologia.....	45
4.1 – FMEA.....	46

4.1.1 - FMEA de Projecto	47
4.1.2 - FMEA de Processo	51
4.2 – Principais Equipamentos de Medição	52
4.2.1 – Máquina de Medição 3D	52
4.2.2 – Projector de Perfis	53
4.2.3 – Outros Instrumentos de Medição	54
4.2.3.1 – Paquímetro	54
4.2.3.2 – Graminho	55
4.2.3.3 – Micrómetros de Interiores, Exteriores e Profundidade	55
4.2.3.4 – Rugosímetro	56
4.2.3.5 – Micrómetros Digital de Diâmetros Interiores	56
4.3 – Calibrações	57
4.4 – Meios de Controlo na Produção	58
4.4.1 – Controlo na Fundição	58
4.4.2 – Controlo na Maquinagem	59
5 – Projecto de Fim de Curso	61
5.1 – A Peça	61
5.2 – Identificação e Localização da Porosidade	61
5.3 – Parâmetros de Injecção	65
5.4 – Correções Possíveis sem Alteração da Cavidade	66
5.5 – Molde	68
5.6 – Soluções	69
5.6.1 – Solução N°1	69
5.6.1.1 – Zona 1	69
5.6.1.2 – Zona 2	74
5.6.1.3 – Alteração da Linha de Apartação	81
5.6.2 – Solução N°2	83
5.6.2.1 – Zona 1	83
5.6.2.2 – Zona 2	83
5.6.2.3 – Alteração da Linha de Apartação	88
5.6.3 – Solução N°3	89
5.7 – Critérios de Selecção da Solução para envio ao Cliente	91
5.7.1 – Cliente	92
5.7.2 – Custos	92
5.7.3 – Tempo de Implementação	93
5.7.4 – Execução Técnica	93
5.7.5 – Manutenção	93
5.7.6 – Solução enviada ao Cliente	94
5.8 – Solução Final	94
5.9 – Custeamento da Alteração	95
6 – Conclusão	97

1 – Introdução

O Projecto de Fim de Curso é parte integrante da Opção de Tecnologias de Moldação por injeção da Licenciatura em Engenharia Mecânica.

Como Projecto de Fim de Curso foi-me proposto a elaboração de um trabalho a ser realizado na SONAFI (Sociedade Nacional de Fundição Injectada) durante um estágio de quatro meses.

Para que me pudesse aperceber do funcionamento da empresa a nível geral comecei por fazer uma visita a todos os seus sectores durante o primeiro dia.

Ao longo das três semanas seguintes tive a oportunidade de relacionar a teoria aprendida no primeiro semestre com a realidade da indústria através da permanência na Secção de Manutenção e Reparação de Ferramentas.

Após as três semanas na Manutenção passei para a Secção de qualidade, no Laboratório de Metrologia. Ali, tive a oportunidade de me aperceber dos níveis de qualidade exigidos e dos meios de controlo para os garantir.

Findo o referido período passei para o Departamento Técnico Comercial onde me foi apresentado o Projecto de Fim de Curso. Foi lá que permanecerei quase três meses para a elaboração do Projecto.

2 – Descrição da Empresa

2.1 – Localização

Morada: Rua Santos Dias, 1052
4466-901 São Mamede De Infesta

A **SONAFI** (Sociedade Nacional de Fundição Injectada) está localizada a uma distância de 5 Km do Aeroporto Francisco Sá Carneiro, de 3 Km da cidade do Porto e de 8 Km do porto de mar de Leixões. Está também muito perto dos acessos às auto-estradas A1 (Porto / Lisboa), A3 (Porto/Braga) e A4 (Porto / Vila Real). Pode assim dizer-se que se encontra num ponto estratégico relativamente a vias de comunicação, que facilita o transporte das matérias primas, bem como a expedição dos produtos que fabrica quer para o estrangeiro quer para o mercado nacional.

2.2 – História

Foi fundada em 1953 pela “Société Générale de Belgique”, sendo a primeira fábrica no país de fundição injectada.

Até 1973, a empresa dedicava-se exclusivamente ao fabrico de ferragens, lançando produtos inovadores e dominando completamente este mercado. Nesse ano foi vendida ao grupo Emino. Por esta altura também, surgiram várias empresas que se dedicaram ao mercado das ferragens, saturando-o. Algumas empresas familiares colocavam no mercado produtos semelhantes a baixo preço, colocando a SONAFI numa situação financeira delicada.

Em 1981, com a entrada da Renault em Portugal, a SONAFI altera a sua estratégia e elege o mercado automóvel como principal cliente alvo.

Em 1986 a SONAFI sofre uma mudança com a sua compra por parte da direcção que na altura vigorava. A empresa começou sofrer uma profunda reestruturação, investindo em equipamentos e tecnologia de ponta e procurando também novos mercados, como o dos equipamentos de gás. Como uma das suas

principais apostas é a qualidade, obtiveram as certificações EQAF94, ISO9002 e QS9000.

Em 1988, veio outra mudança. Especializam-se em fundição injectada, abandonando o sector dos produtos acabados. Geraram fundos por reestruturação das finanças da empresa e fazem investimentos no sector da fundição injectada.

Em 1989 foi vendida a actividade que se dedicava à produção de ferragens, quer pela disparidade de níveis de qualidade, como também por questões estruturais.

De 1992 a 1994, beneficia do programa especial de reestruturação do sector português de fundição: PRBSBF.

Em 2001 o Grupo Internacional EURALCOM adquiriu 40% da SONAFI.

Actualmente, a SONAFI caracteriza-se pelo aumento da sua automação e sofisticação, que veio trazer também um aumento da capacidade de produção, permitindo-lhe responder às exigências do mercado. Com a compra dos restantes 60% pela EURALCOM, a SONAFI visa hoje em dia a internacionalização, nomeadamente para o Brasil, com o objectivo da excelência.

2.3 – Estrutura Organizativa da Empresa

A estrutura da empresa está esquematizada no diagrama abaixo.

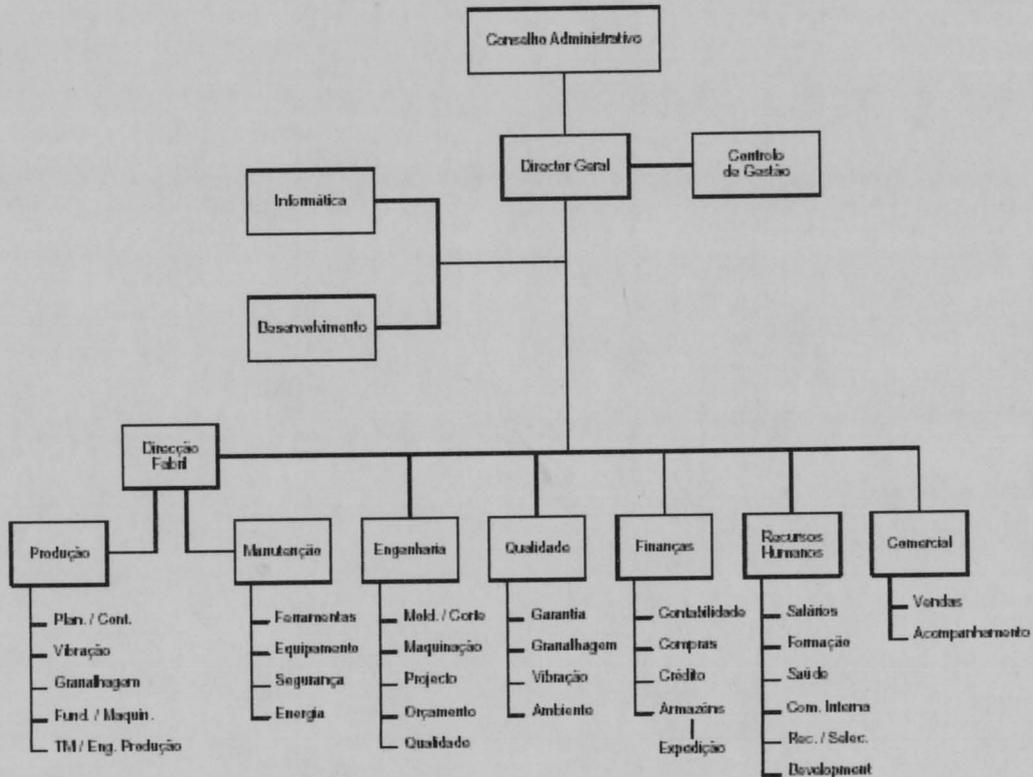


Figura 1 - Organograma da Empresa

2.4 – Matérias-primas, Produtos e Mercados

A actividade desenvolve-se nas seguintes áreas:

- Fundição injectada em de ligas de alumínio:

Ligas	Norma
AlSi9Cu3	NF EN 1706
AlSi10Mg	NF EN 1706
AlSi12CuFe	DIN 1706

Representam 96% do total processado.

- Fundição injectada em Zamak (liga de Zn):

Liga	Norma
ZnAl4Cu1	NF EN 1774

Representa os restantes 4%.

- Acabamentos das peças fundidas de acordo com as especificações do cliente utilizando vários métodos, nomeadamente a granalhagem, a vibração, a maquinagem, pequenas montagens e pintura.
- Fabrico de ferramentas para uso próprio.

O leque de produtos oferecidos pela SONAFI é apreciável. São exemplos: corpo de filtros de óleo, tampas de bombas de óleo, suportes de pedais, dissipadores, unidades de válvulas de aquecedores a gás, pedais, corpos de reguladores de ar, etc.

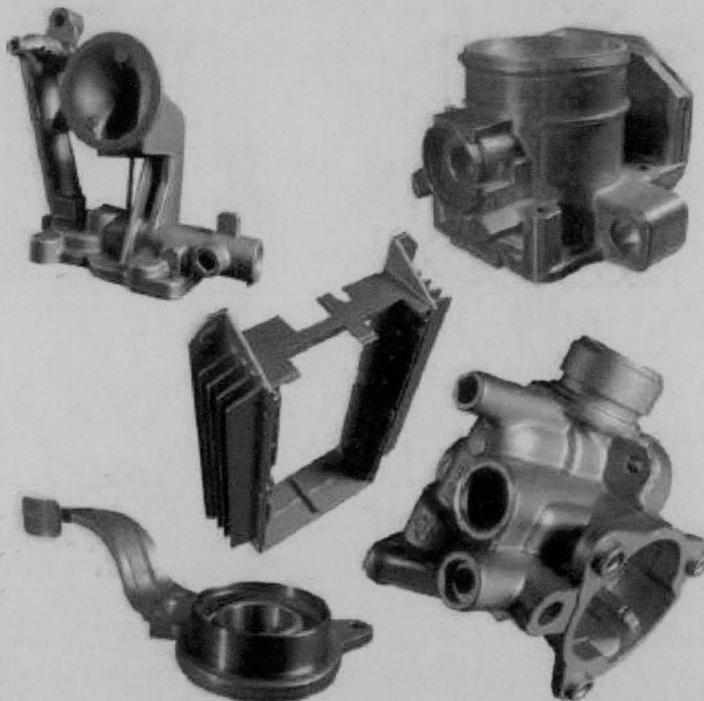


Figura 2 – Gama de Produtos da Sonafi

Embora a SONAFI produza essencialmente componentes para a indústria automóvel, tem vindo a procurar clientes na indústria de equipamento de gás.

Entre os seus clientes encontram-se várias multinacionais de renome como por exemplo: General Motors, Visteon (Ford), Renault, Mercedes, Vulcano, etc. Os produtos são destinados, essencialmente, aos mercados Europeu e Latino-Americano. O mercado automóvel é extremamente exigente uma vez que exige padrões de qualidade muito elevados, prazos de entrega rigorosos e preços competitivos.

Os produtos apresentados da SONAFI podem assim ser divididos em três categorias:

- Automóvel
- Aparelhos domésticos
- Outros

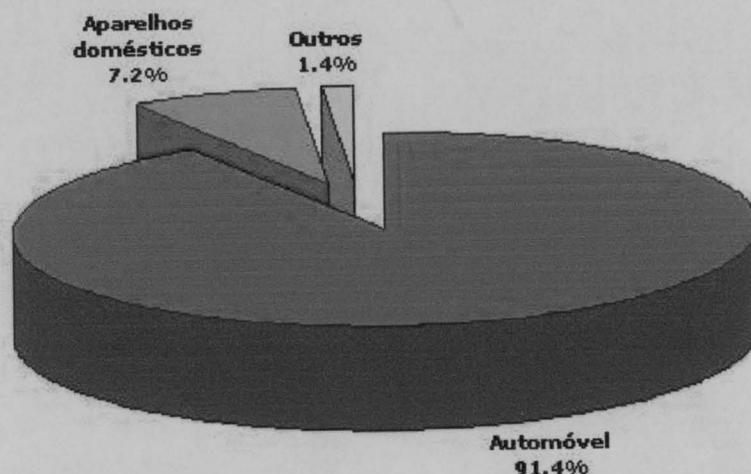


Gráfico 1 – Caracterização das categorias de produtos

As principais marcas com que a SONAFI trabalhou em 2001 são referidas no gráfico seguinte, bem como as percentagens correspondentes ao volume de peças produzidas para cada.

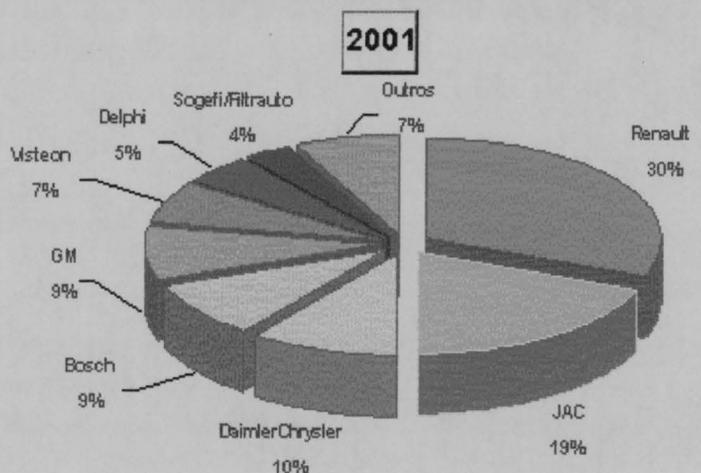


Gráfico 2 – Distribuição da produção por clientes em 2001

Em 2002 houve ligeiras alterações no número de peças comercializado a cada marca. A tendência será para que a Filtrauto continue a ganhar relevância na SONAFI.

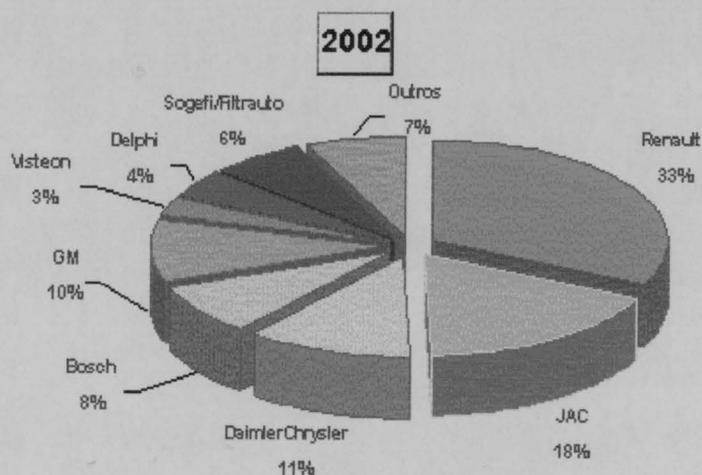


Gráfico 3 – Distribuição da produção por clientes em 2002

2.5 – Investimentos, Vendas e Previsões

Entre 1996 e 2000 foram feitos os seguintes investimentos em meios de produção, investigação, formação e ambiente.

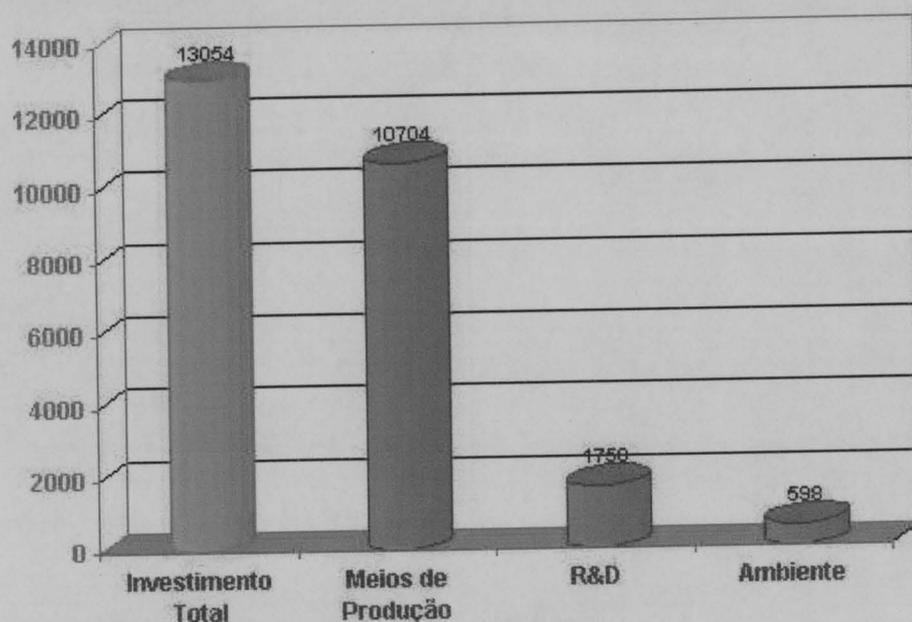


Gráfico 4 – Investimentos 1996/2000 em K€

Em 2001 as vendas aos clientes da SONAFI tiveram como destino os seguintes mercados.

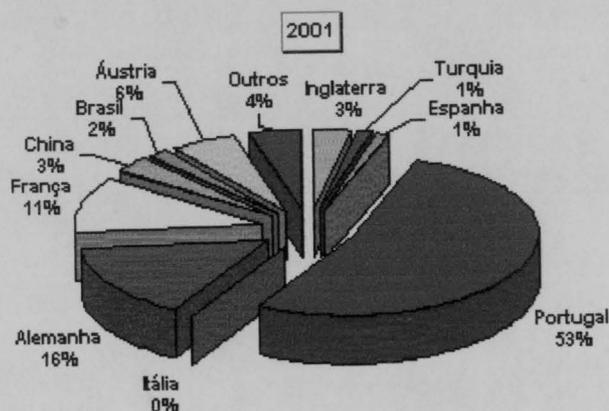


Gráfico 5 – Principais destinos das vendas em 2001

Ao observarmos os gráficos de 2001 e 2002, conclui-se, que as vendas a nível nacional caíram, verificando-se um aumento a nível internacional principalmente para a Alemanha e França.

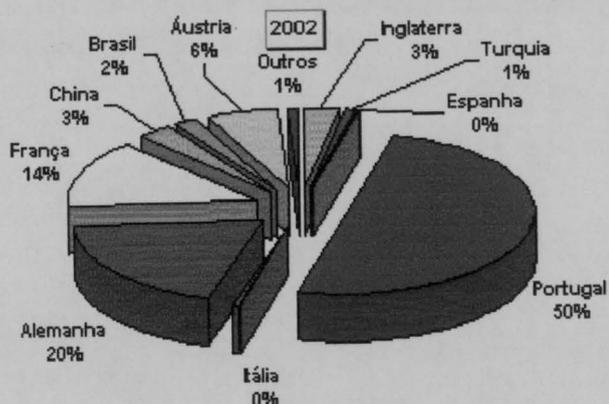


Gráfico 6 – Principais destinos das vendas em 2002

Os principais Mercados são:

Portugal
Espanha
Alemanha
Inglaterra
França
Brasil
Hungria
Áustria
Austrália
México
China
Argentina

As previsões de vendas até 2006 mostram-nos a tendência dos principais clientes da SONAFI. Prevê-se uma estabilização da Renault e um aumento substancial da Sogefi/Filtrauto através dos novos projectos de filtros.

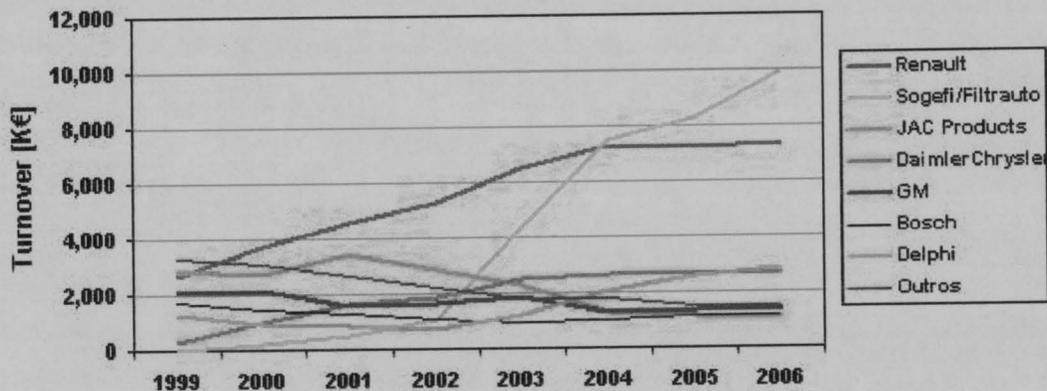


Gráfico 7 – Previsão de vendas até 2006 para os principais clientes

2.6 – Equipamentos e Capacidade de Produção

Estão em funcionamento quatro fornos de soleira que funcionam a gás natural para a fusão de matéria-prima. Cada um dos fornos funciona apenas com um tipo de liga, para não haver contaminações. Estes fornos fundem, diariamente, cerca de 20 toneladas de metal. A matéria-prima vem em lingotes virgens e estes são misturados numa proporção 50%/50% com os resíduos da produção.

Neste momento são produzidas peças em três tipos de liga de alumínio, designadas internamente como: liga vermelha, liga branca, liga azul. Também se fabricam peças em Zamak embora esta produção esteja em fim de vida.

O processo de alimentação dos fornos colocados em cada máquina é o seguinte: nos fornos grandes a liga é vazada para um cadinho que está na empilhadora onde é retirada a escória através de um processo de introdução de azoto dentro da liga (libertando as impurezas). Depois deste procedimento, os cadinhos são vazados para os fornos de manutenção que estão presentes em cada uma das unidades de fundição injectada (aqui, a temperatura da liga passa a 650°C).

Existem vinte e quatro máquinas de fundição injectada (21 COLOSIO+ 3 BUHLER) de câmara fria, com forças de fecho entre as 200 e 800 toneladas e com uma média de idade inferior a 5 anos. Quatorze máquinas completamente automáticas, (vazamento do metal, remoção das peças, refrigeração e colocação no tapete para arrefecimento), dependendo, as restantes, parcialmente dos operários para executar uma ou mais tarefas. As máquinas encontram-se divididas em alvéolos de quatro máquinas para permitir a passagem das empilhadoras, para abastecer os fornos de manutenção e para transporte das peças fundidas.

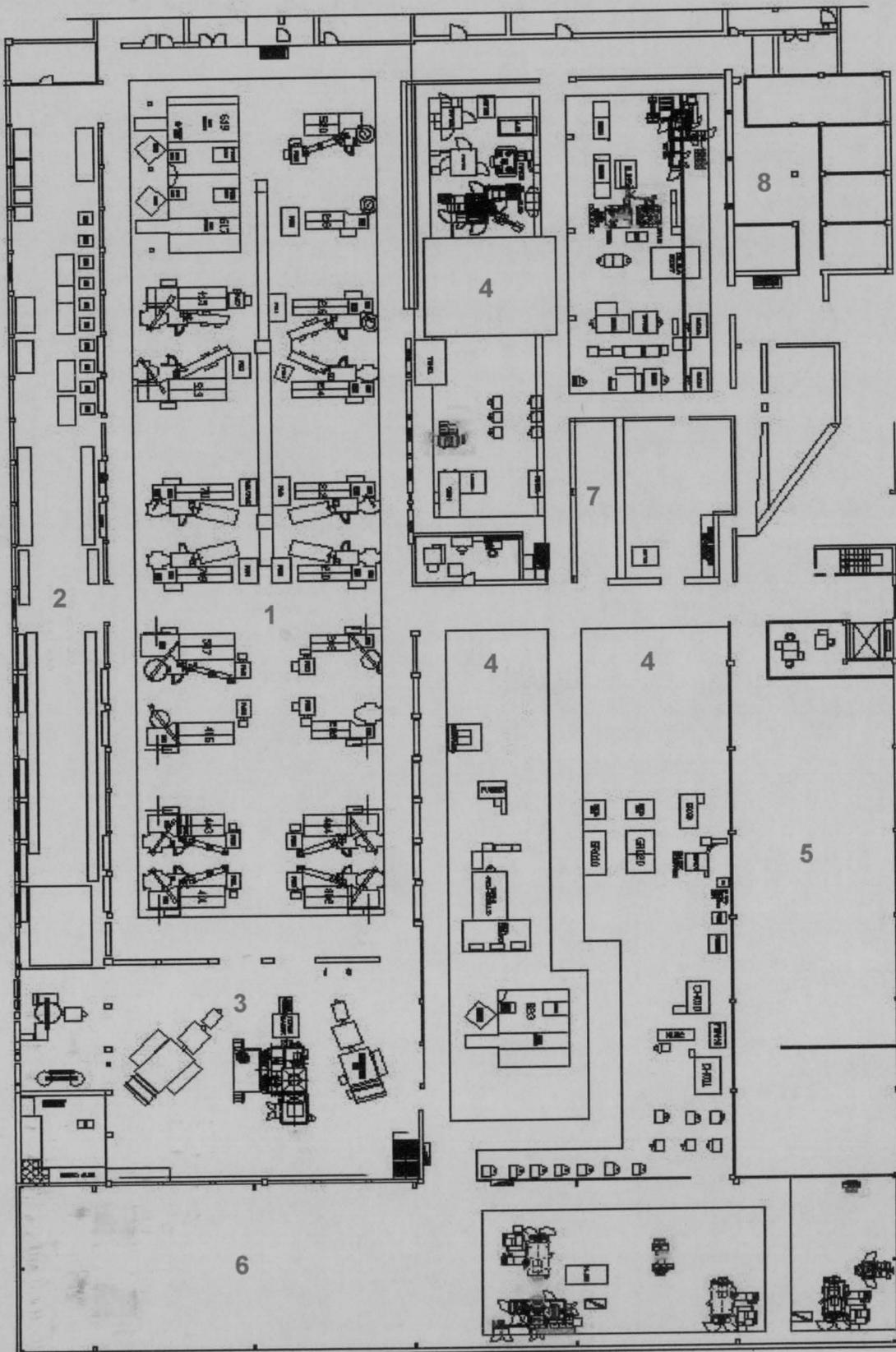


Figura 3 – Planta da unidade fabril

Legenda da planta da unidade fabril:

1. Área para a fundição injectada.
2. Armazém de ferramentas e oficina de reparação de moldes.
3. Fornos.
4. Área de “stock” intermédio e acabamento.
5. Armazém de produto acabado.
6. Novo pavilhão para novos projectos.
7. Armazém de calibres.
8. Laboratório de Metrologia.

Na fotografia seguinte podemos observar a designada zona de fundição injectada e ter uma melhor noção do “layout” dessa área.



Figura 4 – Área para a fundição injectada

2.7 – Métodos de Produção

2.7.1 – Células Automáticas

A configuração de uma célula de injeção automática na SONAFI é apresentada na imagem seguinte. Este tipo de célula é usado para aliviar o operário e assegurar maior cadência de produção, continuando o operário a ser indispensável para efectuar a colocação do jito no cortante e o controlo no posto, garantido assim uma menor taxa de erros.

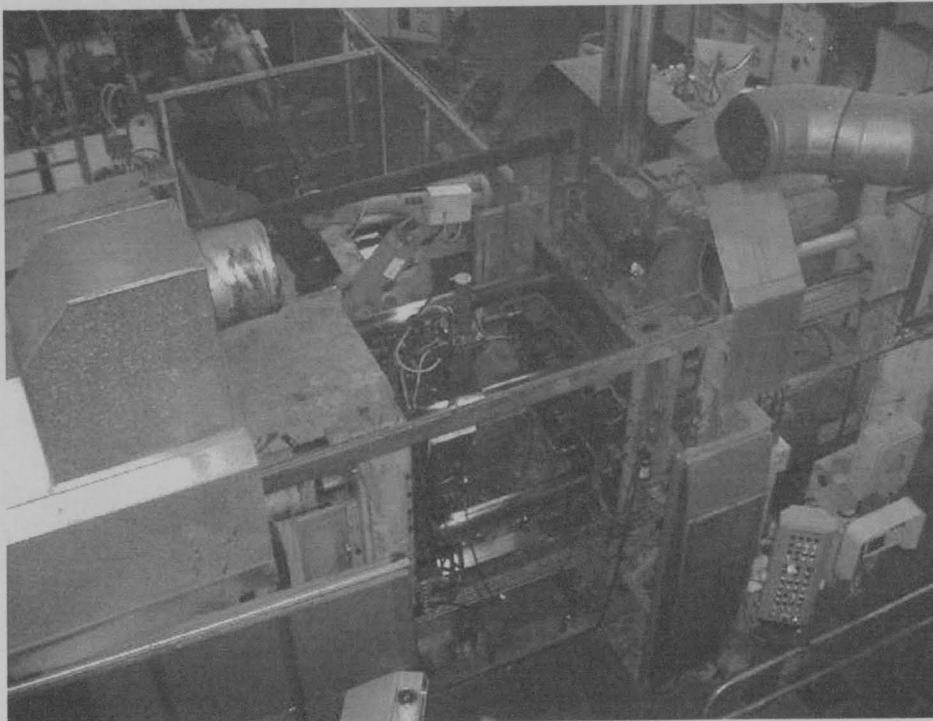


Figura 5 – Célula de Injecção

Nas máquinas automáticas, a lubrificação do molde é assegurada por um braço automatizado que, com o abrir do molde e após extracção do jito, tem um movimento descendente aplicando então o desmoldante (lubrificante) seguido de ar para secagem. O lubrificador possui vários bicos direccionáveis orientados para zonas mais sensíveis.



Figura 6 – Braço de Lubrificação Automático

De seguida, o material é vazado na camisa de injeção através do cadinho que faz o transporte do forno de manutenção, colocado em cada célula, até à admissão do pistão, conforme se observa na figura abaixo.

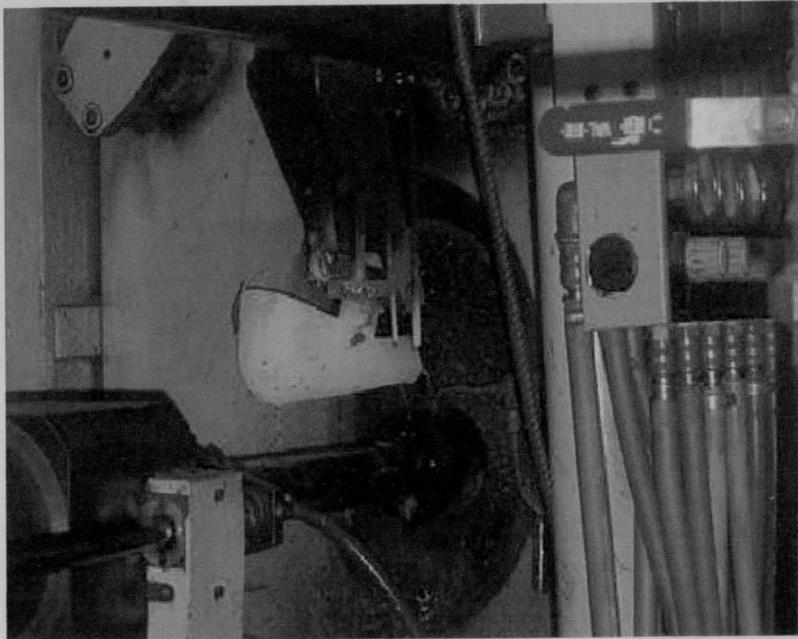
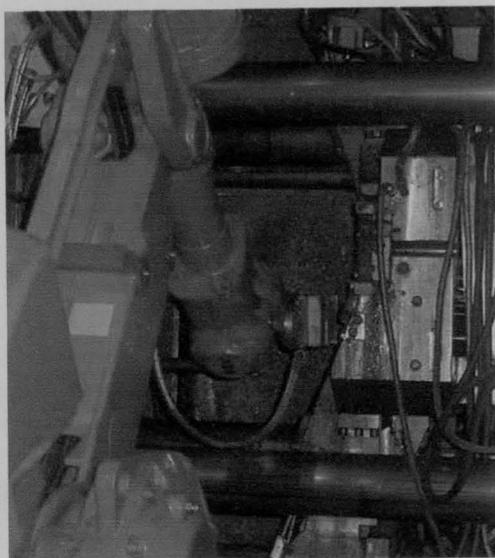


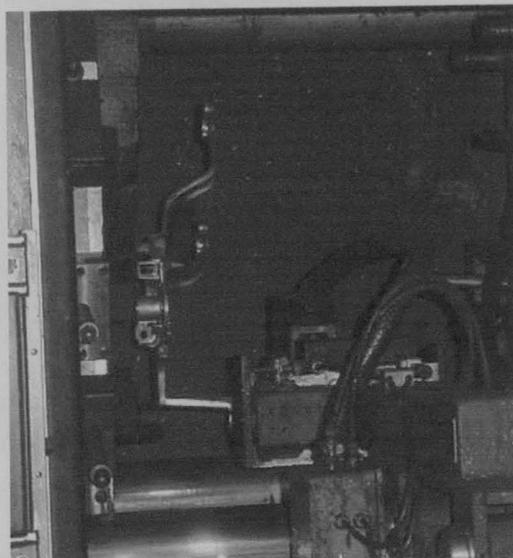
Figura 7 – Alimentação automática

Neste tipo de máquinas a peça é retirada por um mecanismo automatizado designado por manipulador.

O grau de automatização possível nestes sistemas é variado: os sistemas do tipo robô permitem movimentos em todos os eixos, quer no corpo quer na haste. Os restantes sistemas são muito mais limitados no corpo e haste, não permitindo movimentos complexos.



a)



b)

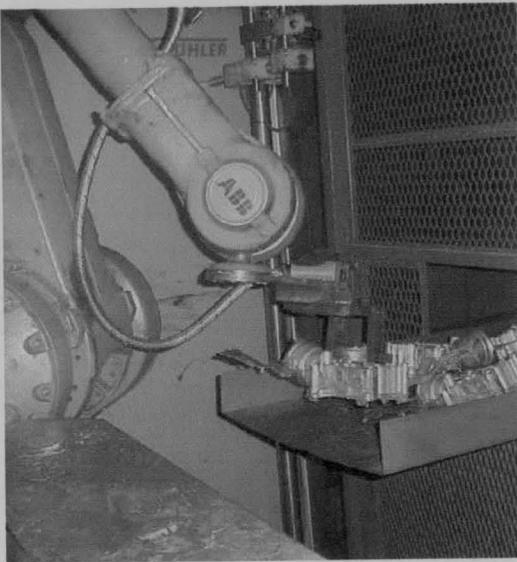
Figura 8 – (a) Extração do jito com robô; (b) Extração do jito com manipulador

Nos automatismos da ABB, o arrefecimento é efectuado pelo robô num tanque de água. Esta água é recirculada para que mantenha a temperatura ambiente e não contenha sujidades e impurezas, evitando assim a contaminação do jito. Também é feito um “escorrimento” do jito para que seja seco mais facilmente. Este sistema de arrefecimento é usado para jitos de maiores dimensões, pois promove um tempo de arrefecimento bastante inferior.



Figura 9 – Arrefecimento do jito no tanque

De seguida, o jito é colocado num tapete rolante que o transporta até ao topo para que seja recepcionada pelo operador.



a)



b)

Figura 10 – (a) Robô a pousar o jito no tapete; b) Manipulador a pousar o jito no tapete

O tapete conduz o jito através do túnel de arrefecimento no caso das máquinas equipadas com manipulador. Nas máquinas equipadas com robôs não necessita do túnel visto que o arrefecimento é efectuado em água.

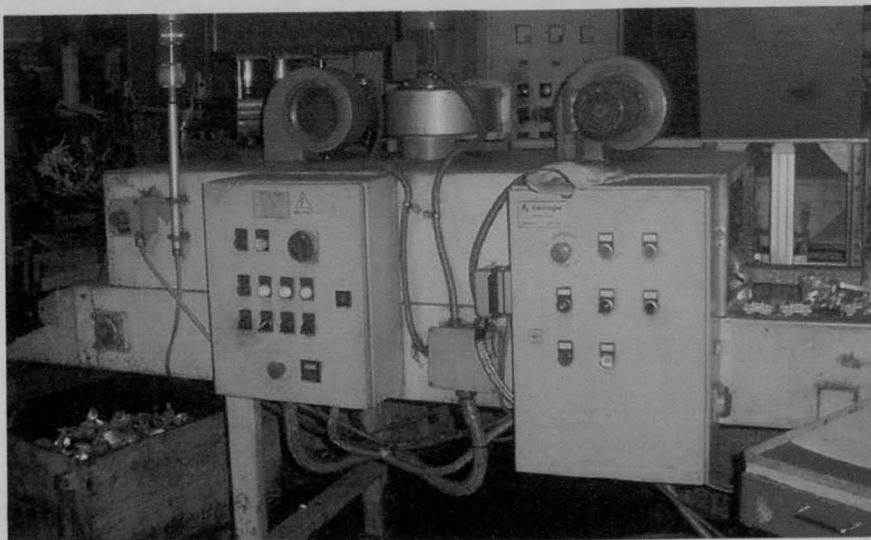


Figura 11 – Túnel de Arrefecimento

Depois do jito ser retirado do tapete pelo operador, é colocado no cortante de modo a separar as peças do canal de alimentação, masselotes e rebarbas.

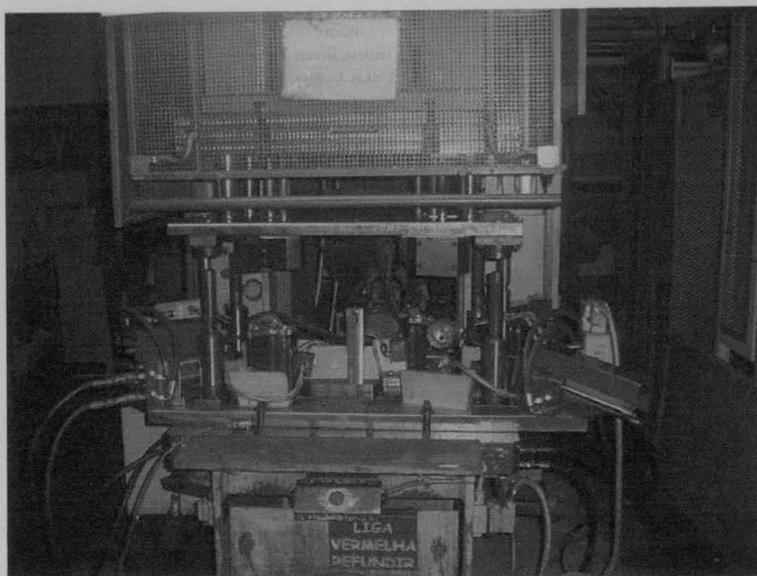


Figura 12 – Cortante

Este passo poderia também ser executado por um robô, mas a SONAFI optou por retirar a sua automatização.

Para finalizar o processo produtivo, as peças são acomodadas em contentores para serem levadas para a vibração ou para a granalhagem.



Figura 13 – Acomodamento das peças num contentor

2.7.2 - Células Semi-Automáticas

Este tipo de células é igual em termos de sequência, no entanto, não tem um grau de automatização tão elevado como o anterior. Apenas será descrito o que distingue os dois tipos de células.

Começamos a encontrar diferenças, logo à partida, na lubrificação que, neste caso, é efectuada pelo operador. Este deve executar esta função tendo maior atenção às zonas nas quais poderão surgir prisões.

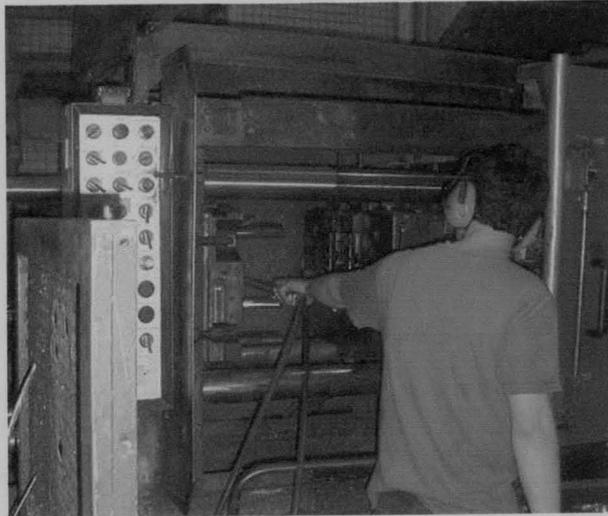


Figura 14 – Lubrificação manual

Também a extracção do jito é efectuada manualmente conforme a figura em baixo.

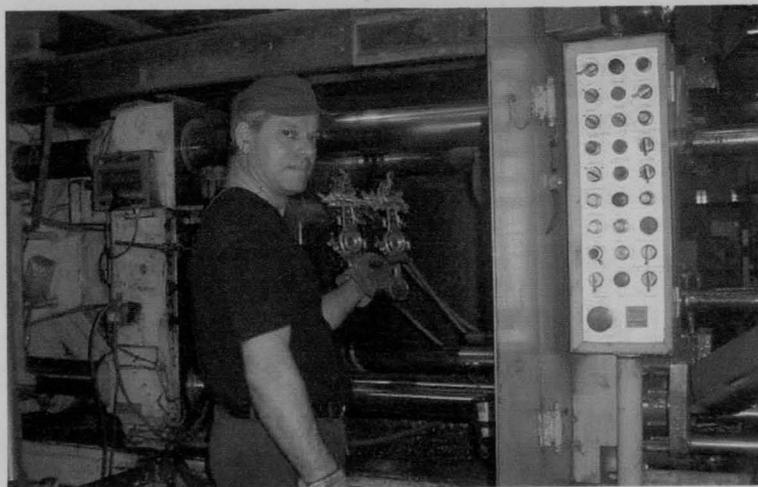


Figura 15 – Extracção manual do jito

Em termos de arrefecimento do jito, tanto pode ser efectuada no túnel ao longo do tapete, como deixado à temperatura ambiente quando é retirado da máquina.

O corte do jito também é executado por um operador que o coloca no cortante tal como nas células automáticas.

3 – Estágio na Secção de Manutenção e Reparação de Ferramentas

Ao longo deste capítulo irei descrever sucintamente as máquinas existentes na secção e quais as operações com elas realizadas na manutenção dos moldes, bem como os defeitos mais frequentemente encontrados e a sua resolução na prática.

3.1 – Parque de Máquinas

As maiorias das máquinas desta Secção, designada também por Armazém de Ferramentas, transitaram da antiga Secção de Mecânica, onde se fabricavam moldes, (extinta há aproximadamente 15 anos). Não sendo máquinas recentes, oferecem ainda garantias de executar correctamente as suas funções de manutenção devido ao elevado nível de exigência da *SONAFI*. Ao longo das 3 semanas que permaneci nesta secção, entrei em contacto com estas máquinas tendo trabalhado com algumas delas, sobre supervisão. Em baixo podemos observar a disposição da secção.

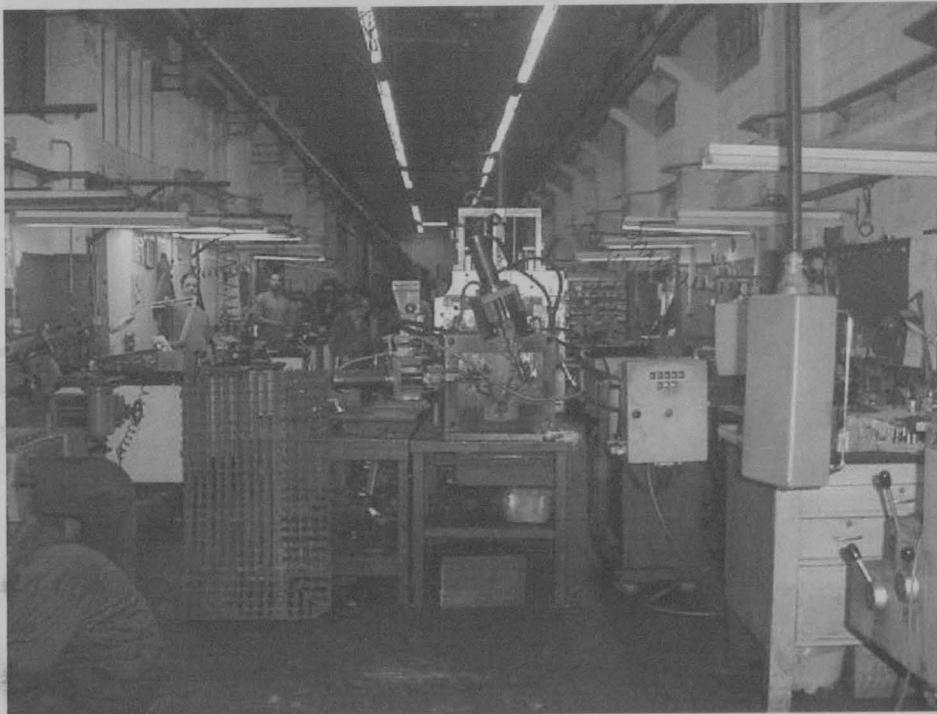


Figura 1 – Disposição do Armazém de Ferramentas

3.1.1 - Rectificadora Cilíndrica

Tem como função rectificar componentes cilíndricos, tais como: pernos, extractores e datadores. Sendo uma das máquinas com maior taxa de utilização, possui um operador dedicado a ela 100% durante nove horas diárias. A imagem abaixo mostra-nos um extractor a ser rectificado.

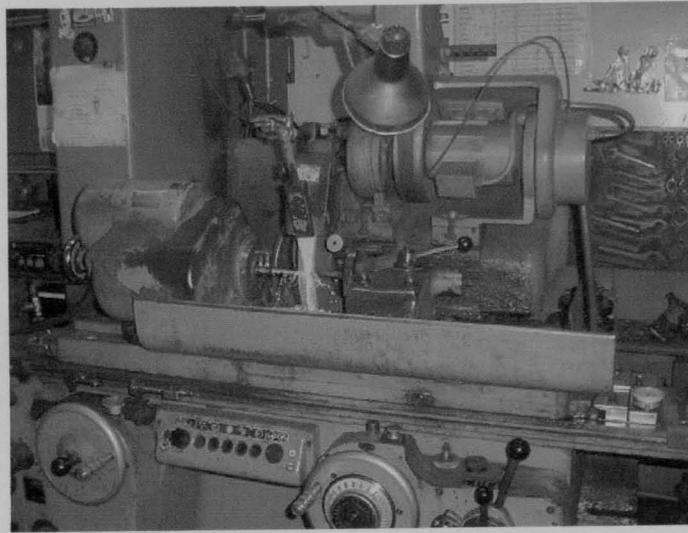


Figura 2 – Rectificadora cilíndrica

3.1.2 - Rectificadora de Planos

Existem duas rectificadoras planas, uma para grandes dimensões e outra para pequenas dimensões. Como o próprio nome indica este tipo de máquinas rectifica superfícies planas de modo a garantir a planeza desejada.

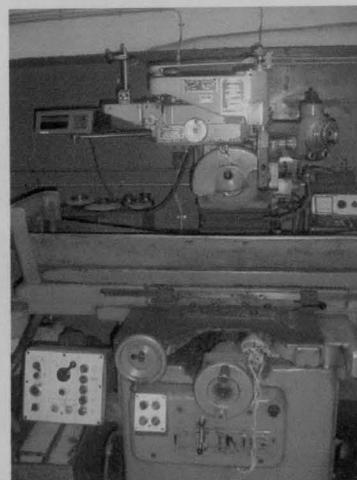
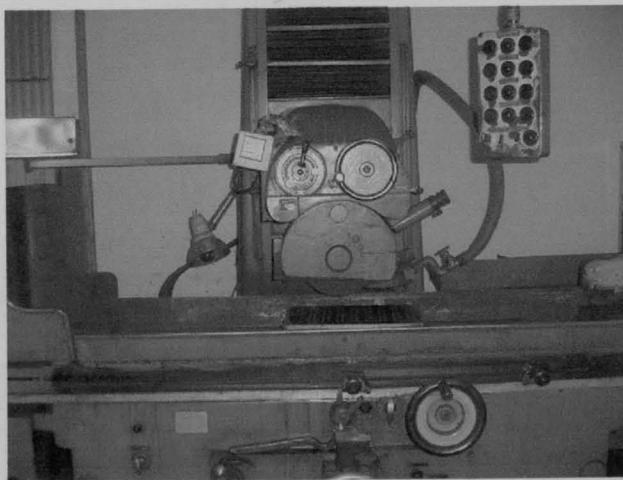


Figura 3 – (a) Rectificadora de Planos para grandes dimensões;
(b) Rectificadora de Planos para pequenas dimensões

3.1.3 – Prensa de Ajuste de Moldes

Esta máquina é uma prensa vertical que possui um sistema hidráulico que possibilita o movimento das gavetas, bem como a simulação da injeção de um material polimérico.

Tive a oportunidade de assistir e participar no ajuste de um molde após ensaio do mesmo na máquina de injeção. Esta operação é bastante morosa e implica que o técnico envolvido possua bastante experiência. O lado móvel do molde é colocado no prato inferior da máquina e o lado fixo, no prato superior. Após esta operação, as gavetas são retiradas para que se ajustem os dois lados do molde. Este ajuste consiste em pintar ambos os lados do molde com uma tinta especial e bater lado contra lado de modo a perceber onde é necessário retirar material com a mó. Após o ajuste, são colocadas as gavetas e ligado o circuito hidráulico que promove o avanço e recuo das mesmas. É então que se volta a bater o molde, de modo a que as superfícies dos dois lados encostem e as gavetas se encontrem em carga de modo a aguentarem o pico da pressão de injeção.

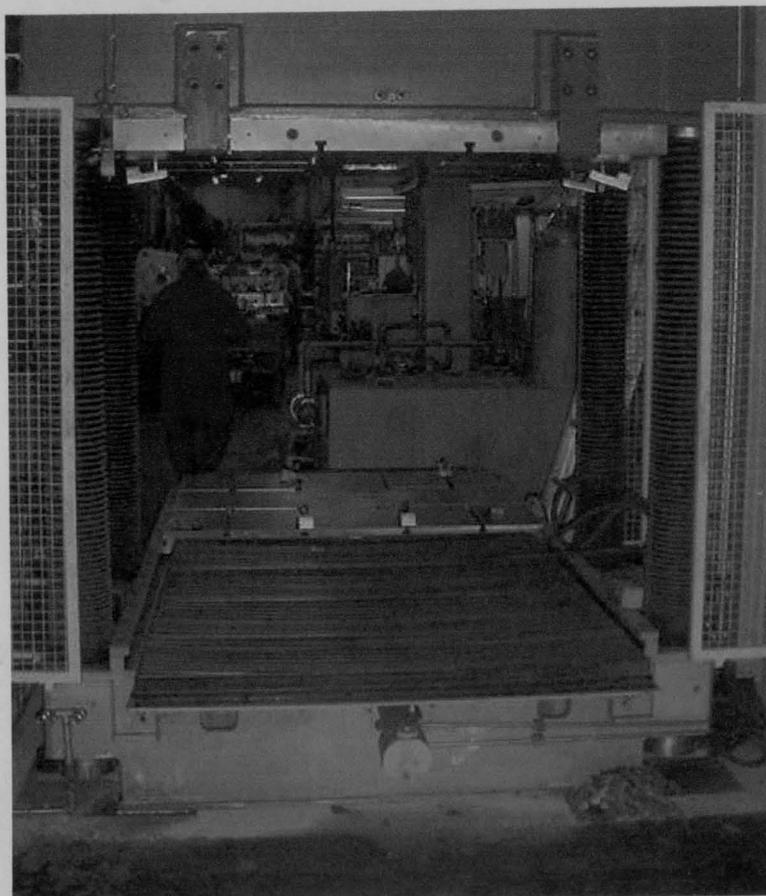


Figura 4 – Prensa de ajuste de moldes

3.1.4 – Fresadoras

Podemos encontrar na secção duas fresadoras:

- Fresadora CNC
- Fresadora Universal

A Fresadora CNC (comando numérico computadorizado) é também uma das máquinas com maior taxa de utilização. Possui um operador a 100% e trabalha nove horas diárias. Para as necessidades da manutenção é suficiente, visto maquinar principalmente gavetas, pratos de extracção, calços, ou seja, componentes cuja dimensão é relativamente pequena.

A Fresadora Universal, embora menos utilizada, é também bastante solicitada. Tendo sido necessário, recentemente, contratar um operador de modo a cobrir trabalhos de fresagem mais simples, de forma a libertar a Fresadora CNC.

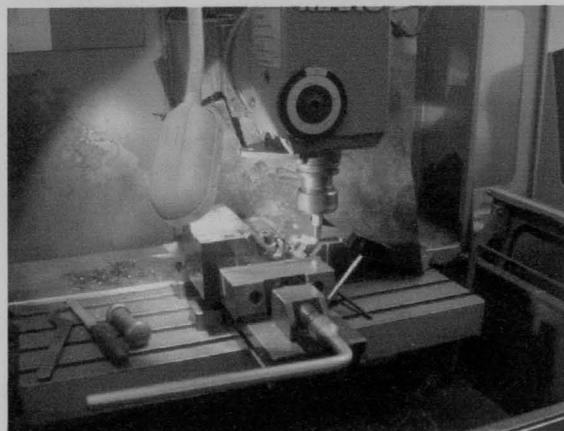


Figura 5 – Fresadora CNC



Figura 6 – Fresadora Universal

3.1.5 – Máquina de Electroerosão

Neste tipo de máquinas é necessário um macho que é usado como eléctrodo, tendo, por isso, que ser um condutor eléctrico. São utilizados eléctrodos de cobre ou grafite.

Quando o eléctrodo começa a penetrar no aço, a diferença entre este e o aço é bastante pequena e uniforme (gap). Enquanto o macho desce, pequenas e intensas faíscas são libertadas nas zonas mais próximas, proporcionando a remoção de material. Tanto o macho como o aço sofrem desgaste, mas este desgasta-se aproximadamente 1/8 do aço pela sua polaridade negativa, podendo o aço receber um tratamento de endurecimento para que a distorção devido ao calor seja eliminada. O fluido dieléctrico deve estar em constante circulação de modo a remover as pequenas partículas que se formam entre o macho e o aço.

Este tipo de maquinagem tem como grande vantagem, em relação às mais tradicionais, o tipo de formas que podem ser obtidas nas inserções moldantes.

A figura seguinte mostra-nos uma inserção moldante no tabuleiro da máquina e o eléctrodo colocado na árvore da máquina. Na figura, o tanque ainda não foi cheio do fluido dieléctrico.

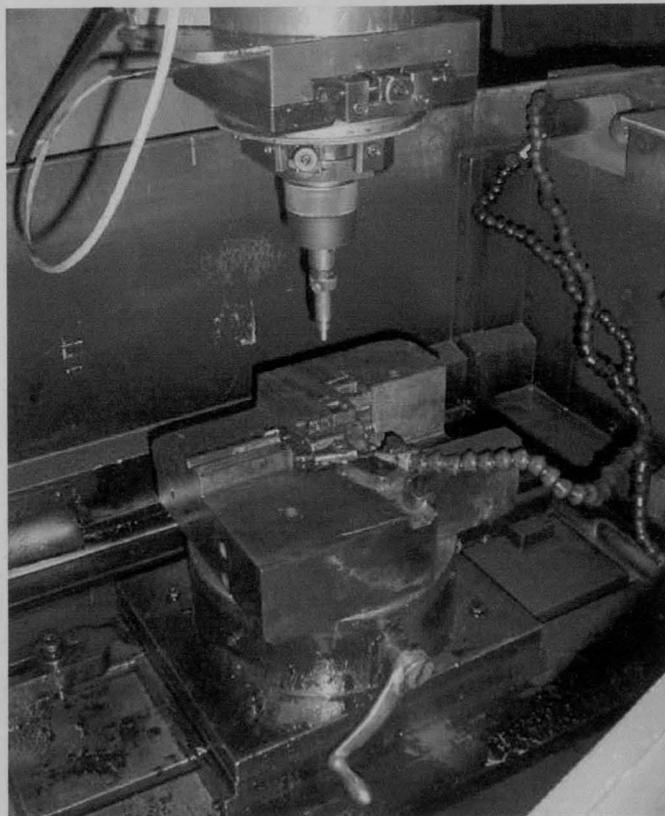


Figura 7 – Máquina de Electroerosão

3.1.6 – Pantógrafo

Este equipamento tem como finalidade a elaboração dos datadores ou a sua alteração quando necessário. Qualquer um dos técnicos da secção está habilitado a trabalhar com o equipamento, sendo bastante usado.



Figura 8 - Pantógrafo

3.1.7 – Furadoras

Podemos encontrar na Secção duas furadoras:

- Furadora Radial
- Furadora de Bancada

É de notar que a furadora é considerada a mais rápida e económica máquina de maquinaria.

A furadora de bancada tem capacidade para abrir furos de pequenos diâmetros, rebaixar pequenos furos e alargar furos. A furadora radial é uma máquina para trabalhos pesados que tem a cabeça de maquinaria sobre um braço amovível que se desloca para a posição de furação desejada, permitindo assim uma grande mobilidade sobre o componente que se deseja furar.

As imagens seguintes mostram-nos as duas máquinas.

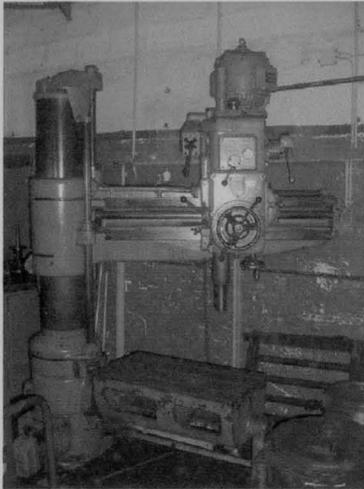


Figura 9 – Furadora Radial

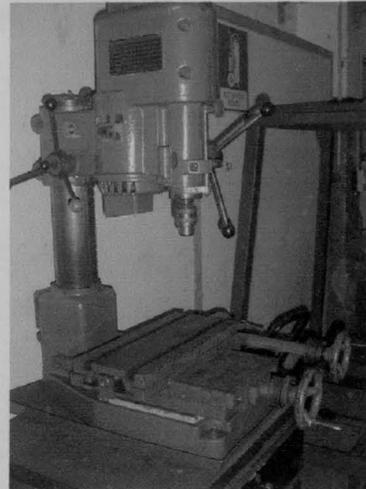


Figura 10 – Furadora de Bancada

3.1.8 – Torno Mecânico

O torno é usado para abrir roscas, acertar comprimentos e maquinar o interior de certos componentes, tendo como principal limitação as dimensões destes.

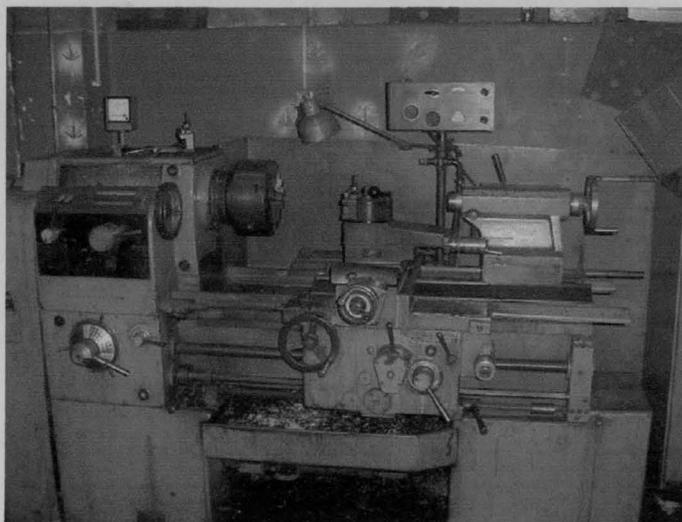


Figura 11 – Torno Mecânico

3.1.9 – Máquina de Lavar

É a máquina mais utilizada na secção, pois quase todos os moldes que são retirados das máquinas de injeção são lavados antes de serem reparados ou guardados.

Antes de irem para a máquina as Ferramentas (moldes, cortantes) são raspadas para retirar os resíduos maiores de alumínio. Para limpar é usado um

detergente especial e água quente a alta pressão. Em baixo podemos observar a máquina e verificar as suas grandes dimensões.

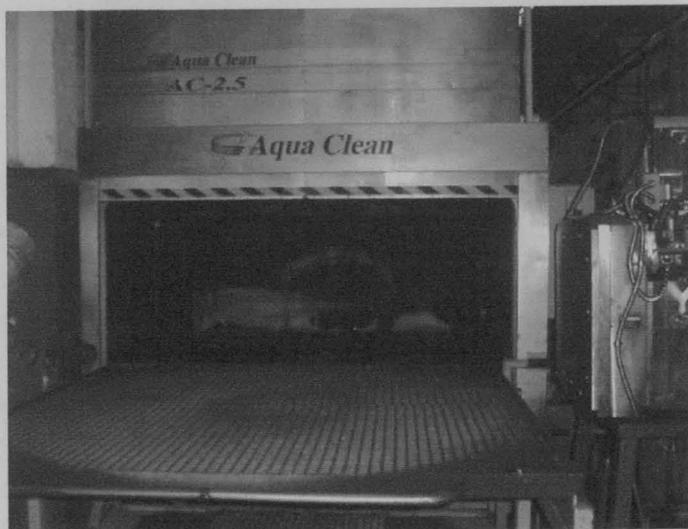


Figura 12 – Máquina de lavar Ferramentas

3.1.10 – Máquina de Jacto de Areia

Esta máquina serve para limpar superfícies. Normalmente é usada na zona de escorregamento das gavetas, na parte moldante e em pernos, para que as tolerâncias permaneçam dentro de cota. O material usado como decapante é a areia de vidro injectada a alta pressão.

Depois de colocado o componente sobre um prato rotativo, a máquina é fechada, ficando completamente selada, de modo a proteger o operador de areias que possam ir para os olhos. As mãos são colocadas no interior das luvas de protecção, com cerca de 3mm de espessura, para que se possa manobrar o componente e segurar a pistola sem ferir as mãos. Foi também uma das máquinas com que operei.

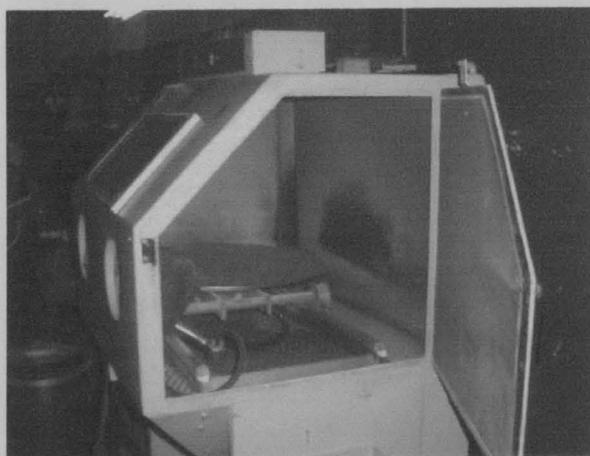


Figura 13 – Vista lateral da Máquina de Jacto de Areia

3.2 – Máquinas de Soldadura

A SONAFI possui os três tipos de máquinas de soldar, necessárias para a reparação de ferramentas na área da fundição injectada. Possui também técnicos especializados para executar as operações de soldagem necessárias.

3.2.1 – Soldadura com Eléctrodo Revestido

Esse tipo de soldagem é a mais convencional. São usados dois tipos de eléctrodos:

- Eléctrodo Ferro-Inox
- Eléctrodo Ferro-Fundido

Este tipo de solda é usado para reparar partes da estrutura do molde. Pode-se observar em baixo, a máquina de soldar com eléctrodo revestido, assim como a máscara de protecção para os olhos.



Figura 14 – Máquina de soldar com eléctrodo revestido

3.2.2 – Soldadura Tig

Este tipo de solda é usada na reparação das inserções moldantes, mais propriamente, na cavidade, sendo também conhecida como solda a argon (gás inerte). Este processo de soldadura não cria depósitos de carvão, ao contrario da anterior,

permitindo uma soldagem mais “limpa”. Tendo, no entanto, um custo superior à de eléctrodo revestido. Os eléctrodos utilizados são normalmente de aço e, de preferência, com qualidade superior à do material onde vai ser executado o enchimento. Também é necessário o uso de máscara protectora dos olhos neste tipo de soldadura.



Figura 15 – Máquina de soldar TIG

3.2.3 – Soldadura com Oxiacetileno

Este tipo de soldadura é utilizada na reparação de acessórios de água e óleo, como por exemplo tubagens. Os tipos de eléctrodos utilizados são:

- Aço
- Prata

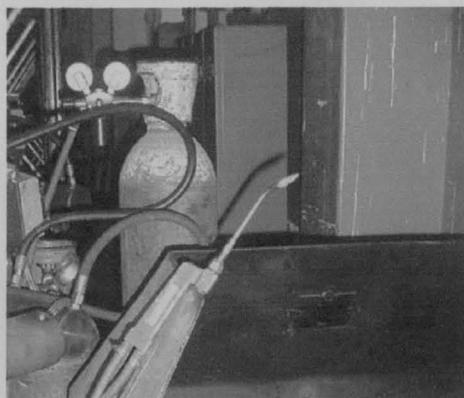


Figura 16 – Soldadura com Oxiacetileno

3.3 – Equipamentos auxiliares

Para além das ferramentas tradicionais existentes numa oficina, esta tem que estar apetrechada com alguns equipamentos específicos para o serviço que pratica. De seguida serão apresentados os equipamentos auxiliares mais utilizados para além dos correntes.

3.3.1 – Rectificadora Pneumática

Esta ferramenta é bastante usada na Secção, pois permite acoplar-lhe as mais diversas mós e lixas. Funciona com velocidades da ordem das 15000 rpm, podendo ser regulável mediante as necessidades.



Figura 17 – Rectificadora manual e mós utilizadas

Para além das mós apresentadas também existem mós de diamante para operações de maior desbaste.

Este tipo de ferramenta é indispensável, pois poupa muito tempo nas operações de manutenção e reparação. Trabalhos que durariam horas quando feitos manualmente, demoram assim apenas alguns minutos. Este tipo de equipamentos veio proporcionar maior celeridade nos trabalhos realizados na Secção, o que significa menor tempo de paragem dos moldes, logo maior cadência de produção.

3.3.2 – Limas de Diamante

Estes tipos de limas são usadas nas zonas em que o aço é mais duro, ou seja, que possui uma têmpera superior.

O conjunto engloba cinco limas:

- Lima triangular
- Lima rectangular
- Lima circular
- Lima plana
- Lima semi-circular

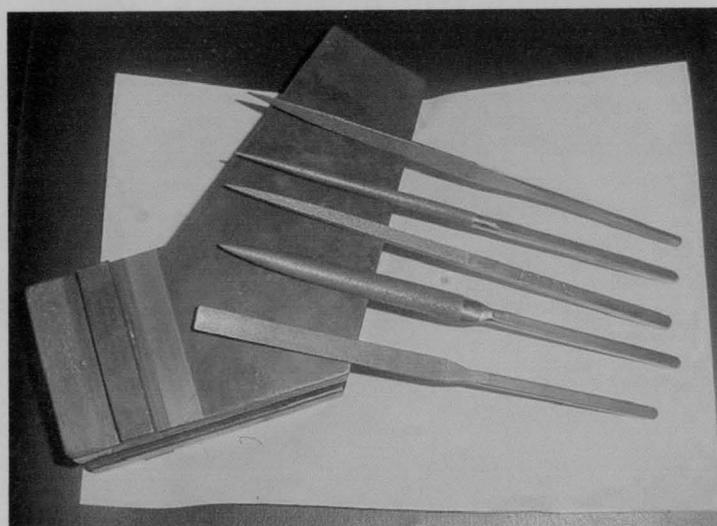


Figura 18 – Limas de Diamante

Os componentes nos quais podemos usar estas limas são: gavetas, inserção de impacto, elementos moldantes, pernos, réguas das gavetas, datadores e outros.

3.3.3 – Ponte

Este equipamento não poderia deixar de ser mencionado porque, na SONAFI, trabalha-se com ferramentas que pesam entre 2 e 7 toneladas, tornando assim possível deslocar as ferramentas na secção com extrema facilidade, uma vez que os faz circular pelo ar. É importante mencionar que, como regra de segurança, nunca se deve transitar por baixo do molde quando este se encontra suspenso.

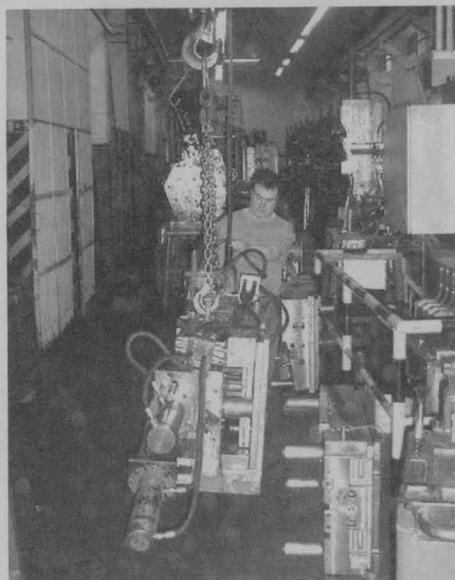


Figura 19 – Suspensão de um molde na ponte

A figura em cima mostra-nos uma operação bastante comum na Secção, isto é, separação do lado móvel do fixo do molde para posterior lavagem.

3.3.4 – Rockilizer

Este aparelho tem como função aumentar a resistência mecânica e a resistência à fadiga térmica nas zonas moldantes. Esse aumento de resistência é feito através de um revestimento que é efectuado do seguinte modo: coloca-se o eléctrodo de tungsténio na pistola e regula-se a intensidade de 10 até 70 efectuando uma passagem, na zona pretendida, de 10 em 10. De seguida troca-se o eléctrodo de tungsténio por titânio e realiza-se a operação ao contrario, isto é, de 10 em 10, mas de 70 até 10, de modo a que a superfície da zona em questão fique o menos rugosa possível.



Figura 20 – Aparelho Rockilizer

3.3.5 – Outros

Podemos ainda encontrar na Secção as seguintes ferramentas de trabalho:

Lixa para aços: 80 (grossa)
 120 (média)
 240 (fina)

A lixa de 80 serve para limpeza das inserções de impacto e outras que tais. A de 120 serve para limpeza dos canais de alimentação e zonas não moldantes das inserções moldantes. Para trabalhos mais cuidados temos a de 240 que é usada nas inserções moldantes (zona moldante) e pernos moldantes.

Temos também os batentes de Cobre que auxiliam na montagem e desmontagem dos moldes, de modo a não se danificarem as inserções.



Figura 21 – Batentes de Cobre

3.4 – Manutenções e Reparações mais Frequentes

3.4.1 – Reparação de cortantes

O problema mais comum nos cortantes é a danificação da matriz superior e inferior. Normalmente surge devido á má colocação do jito no cortante por parte do operador. Tive também oportunidade de assistir e participar na reparação destas ferramentas.

Dependendo do dano infligido na matriz, surgem diferentes soluções para os problemas. A reparação pode ser efectuada através de soldadura, mas, se tal não for possível, e em último caso, terá de se proceder à substituição da matriz danificada.

Em baixo pode-se observar um cortante em reparação.

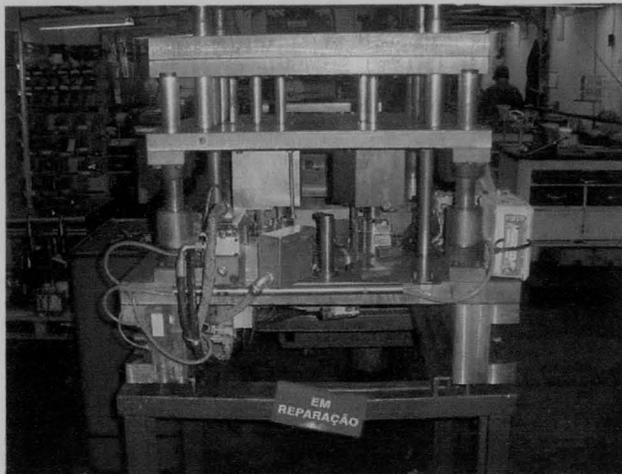


Figura 22 – Cortante em Reparação

Tendo como base o cortante apresentado de seguida (caso geral), podemos identificar os seguintes componentes:



Figura 23 – Cortante com peça

- **Matriz superior:** parte do cortante que efectua o corte e se encontra segura ao prato superior.
- **Matriz inferior:** parte do cortante que apoia a peça para que a

matriz superior execute o corte; está fixada no prato inferior.

- **Calçadores:** parte que agarra a peça de modo a fixá-la ao apoio (matriz inferior) para que a matriz superior corte a peça correctamente; encontra-se no prato superior em conjunto com a matriz superior.
- **Punções:** têm como função limpar rebarbas dos furos e podem trabalhar em conjunto com a matriz superior, ou independentemente, a sua posição pode ser superior ou lateral.

De seguida podemos observar a reparação efectuada numa matriz inferior devido à má colocação do jito no cortante por parte do operador.

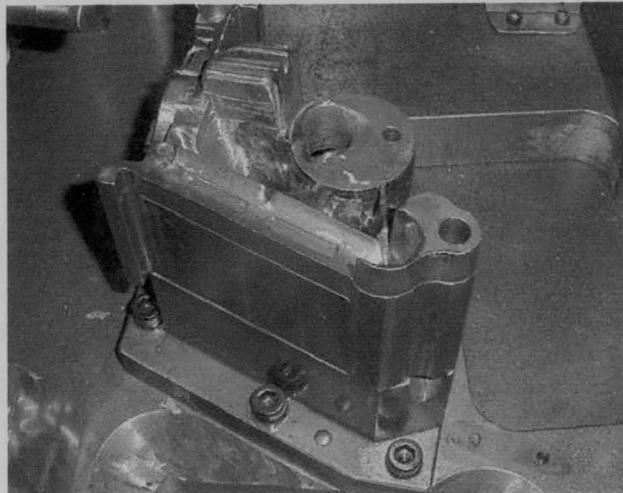


Figura 24 – Matriz inferior reparada

Esta matriz foi soldada nas zonas danificadas, por TIG e, posteriormente, com uma mó, foi rectificada à forma da peça até que esta se ajustasse perfeitamente.

Os danos mais habituais que se encontram nos cortantes são:

- Quebra dos parafusos que seguram a matriz inferior.
- Problemas no sistema hidráulico.
- Danificação da matriz superior.
- Empeno dos punções

É importante proteger bem os cilindros hidráulicos de modo que as rebarbas, resultantes do corte do jito, não provoquem quaisquer danos. Para tal, nesta Secção, são construídas armações em aço que protegem a haste e o corpo do cilindro.

3.4.2 – Manutenção e Reparações de Moldes

A manutenção e reparação de moldes representam aproximadamente 85% do trabalho realizado na Secção. Neste subcapítulo irei fazer uma breve referência aos principais problemas que surgem nos moldes e a sua solução em termos de reparação.

3.4.2.1 – Desgaste na Zona de Ataque

Devido à elevada velocidade (40m/s a 60 m/s) a zona de ataque do alumínio, aliada às altas pressões e temperaturas, esta zona sofre um grande desgaste. Este tipo de desgaste é dos mais frequentes e obriga a uma vigilância apertada. Na figura abaixo, podemos observar uma zona de ataque desgastada.



Figura 25 –Desgaste da zona de ataque

A reparação destas zonas é efectuada com soldadura TIG ou eléctrodo revestido para, posteriormente, ser rectificada com uma mó aplicada no rectificador pneumático.



Figura 26 – Enchimento com solda TIG

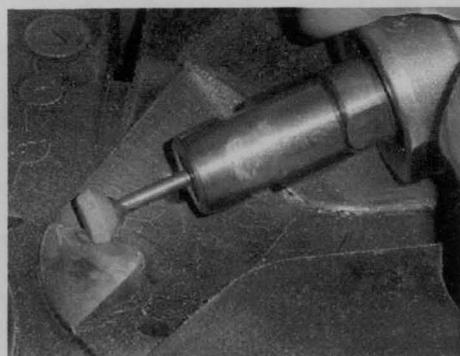


Figura 27 – Operação de Rectificação

Após rectificação com a mó, obtemos a forma desejada, tendo como resultado final algo semelhante à figura seguinte:



Figura 28 – Zona de ataque reparada

3.4.2.2 – Desgaste da Cavidade na Zona próxima ao Ataque

Os locais mais afectados por este tipo de desgaste são as zonas mais próximas do ataque. A principal causa continua a ser a elevada velocidade do alumínio em conjunto com as suas temperaturas e pressões. Em baixo, podemos observar esse tipo de desgaste na cavidade. Os locais mais afectados são as arestas vivas e os pernos moldantes, isto é, todas as zonas com menor volume de aço.



Figura 29 – Desgaste nas arestas e pernos da cavidade

A reparação destas zonas é efectuada com soldadura TIG, ou seja, na zona danificada é feito um enchimento para posteriormente ser rectificada com uma mó

apropriada ao local. Também são usadas limas de diamante nestas reparações.

A figura seguinte mostra-nos um enchimento numa cavidade danificada.



Figura 30 – Enchimento na cavidade

3.4.2.3 – Empeno e Quebra de Pernos Moldantes

O empeno e quebra de pernos moldantes é outro dos problemas que mais se verifica nos moldes. As causas são diversas, mas as principais são enunciadas de seguida:

- Quando as peças solidificam e contraem os pernos de maiores dimensões, tem tendência a agarrar a paredes do furo, provocando a sua quebra ou empeno.
- Quando a gaveta ao recuar por algum motivo, não completa o curso, pode-se também dar a quebra ou empeno do perno, durante a extracção da peça.
- No arranque do molde, ele é previamente aquecido com um maçarico. Por vezes, o operador, pode descuidar-se e aquecer demasiado um perno, que fica incandescente e, posteriormente, empenado.
- Quando surgem avarias no sistema hidráulico e o perno não recua.

Quando os pernos empenam dentro de certos limites é possível efectuar o seu desempeno. Essa operação é realizada no torno da seguinte forma: o perno é colocado na cabeça do torno, é aquecido de modo a diminuir a probabilidade de

quebra, isto é, até que fique incandescente na zona a desempenar e, com o batente de cobre, é corrigido o empeno. Podemos observar essa operação na imagem abaixo.

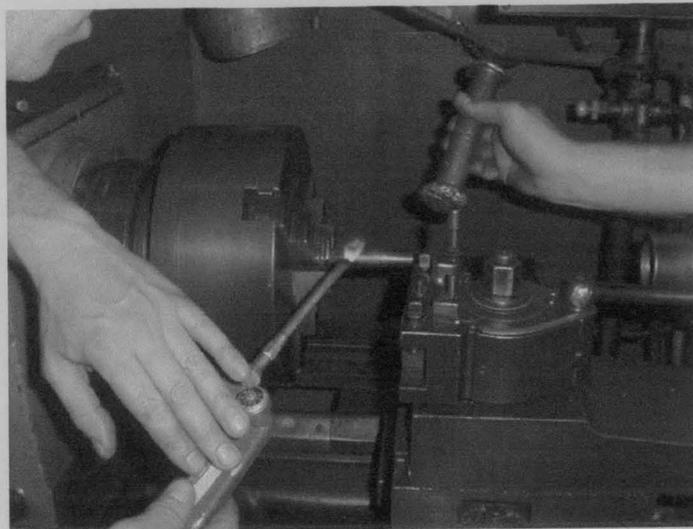


Figura 31 – Desempeno de perno no torno

Quando os pernos partem, é necessário trocá-los. Esta operação implica que seja feito um novo ou que se reaproveitem pernos, já usados, com dimensões superiores, de modo a que possam ser remaquinados. Na figura 32 podemos observar um perno partido, já substituído na gaveta.



Figura 32 – Perno partido e substituído na gaveta

Nos pernos que têm mais tendência a sofrer desgaste ou a agarrar à peça, é efectuado um tratamento com o Rocklinizer para aumentar a resistência mecânica e a resistência à fadiga térmica.

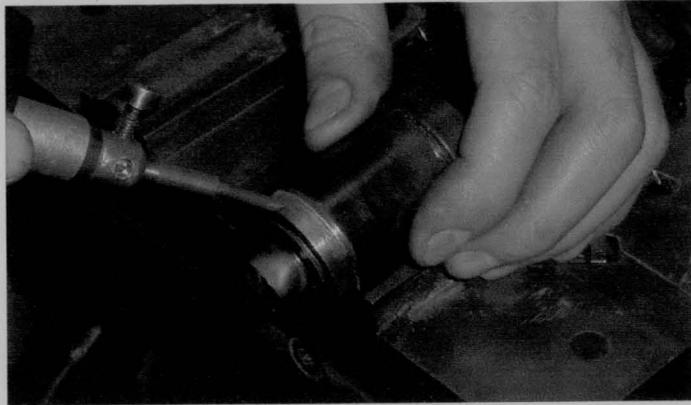


Figura 33 – Rockilização de perno moldante

3.4.2.4 – Fadiga Térmica

As cavidades, com o passar do tempo, vão criar tensões começando o aço a perder propriedades. Tal sucede devido às variações de temperatura, mais significativas na cavidade. A determinada altura surgem pontos de corrosão e “rachadelas” que ocasionam um aumento de volume nas zonas da cavidade. Se a zona em questão não exigir grande precisão de cotas, pode ser rectificada com uma mó, de modo a baixar o nível do aço. Assim as “rachadelas” e poros são atenuados. Este tipo de operação é efectuada em moldes no fim de vida útil. Em baixo, podemos observar uma cavidade após rectificação com uma rectificadora pneumática.

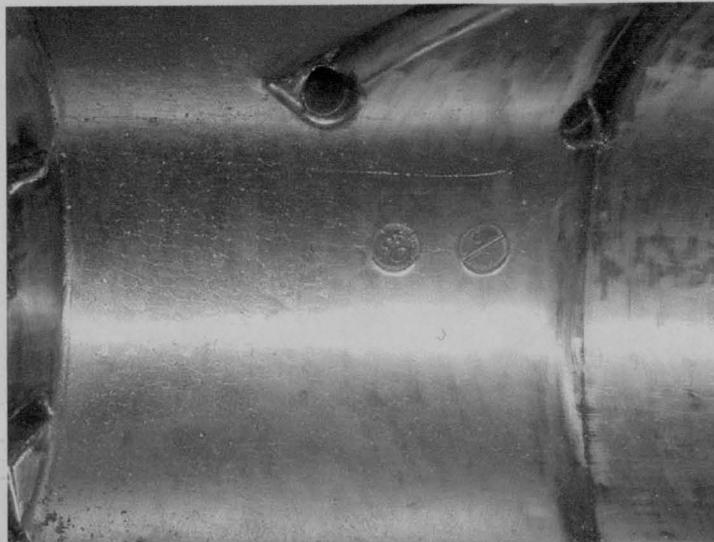


Figura 34 – Cavidade rectificada com mó

Neste caso mesmo após rectificação, conseguimos observar que se mantêm algumas “rachadelas” e poros de menor dimensão. A parte da peça em questão não exige grande precisão de cotas, sendo apenas necessário garantir a espessura da parede da peça no local.

Hoje em dia, algumas empresas aliviam as tensões na cavidade frequentemente, ou seja, de dez mil em dez mil injeções até às sessenta mil, a inserção moldante é colocada no forno à temperatura de revenido.

3.4.2.5 – Quebra dos Casquilhos e Inserções de Impacto

Entre estas duas situações, a mais comum é a quebra do casquilho. Por norma, o local onde se dá a fractura impossibilita a sua reparação, sendo necessário recorrer ao fornecedor do molde para obtenção de uma nova. Já no caso das fracturas das inserções de impacto, estas são menos usuais e são, quase sempre, passíveis de reparação.



Figura 35 – Casquilho em stock



Figura 36 – Inserção de Impacto reparada

3.4.2.6 – Reparações no Sistema Hidráulico

As reparações do sistema hidráulico são diversas:

- Substituição de vedantes
- Substituição das ligações às gavetas
- Substituição de mangueiras

Destes três tipos de reparações as mais comuns são a primeira e a segunda. A substituição da ligação das gavetas é frequente, devido às agarradelas dos pernos moldantes à peça que provocam uma sobrecarga na ligação da haste à gaveta. A substituição de vedantes é feita devido ao desgaste natural de funcionamento e a

substituição de mangueiras, por desgaste, nos casos em que existe um encosto da mangueira a uma zona do molde ou da máquina.



Figura 37 – Cilindros hidráulicos

3.4.2.7 – Limpeza do Molde

Esta operação é, por norma, efectuada quando o molde sofre uma paragem devido a qualquer uma das outras reparações já mencionadas, aproveitando-se assim esse tempo para a limpeza. Em alguns casos particulares é necessário proceder à paragem de produção para que se possa desmontar o molde e realizar esta operação, pois as crostas de material começam a afectar o funcionamento normal do molde, prejudicando a respectiva produção. Na figura 38 podemos ver a realização de uma operação de limpeza da inserção moldante e estrutura adjacente.



Figura 38 – Limpeza da zona de fecho

3.4.2.8 – Assistência ao Molde na Máquina de Injecção

Neste tipo de assistência, o tempo de paragem de produção é significativamente inferior ao que é necessário quando se retira um molde da máquina de injecção. Por isso, quando se realiza uma reparação, verificar se sempre é possível efectuarla com o molde montado na máquina, optando-se por desmontar o molde em último recurso. As operações mais comuns efectuadas com o molde colocado na máquina de injecção, por ordem de frequência:

- Limpeza da face de fecho do molde com lixa, lima e rectificadora pneumática.
- Desencarceramento de peças na cavidade.
- Substituição de pernos moldantes.
- Reparação de cilindros hidráulicos.

A figura seguinte mostra-nos a assistência a um molde colocado na máquina, cujo problema foi a quebra do apoio do cilindro ao molde.

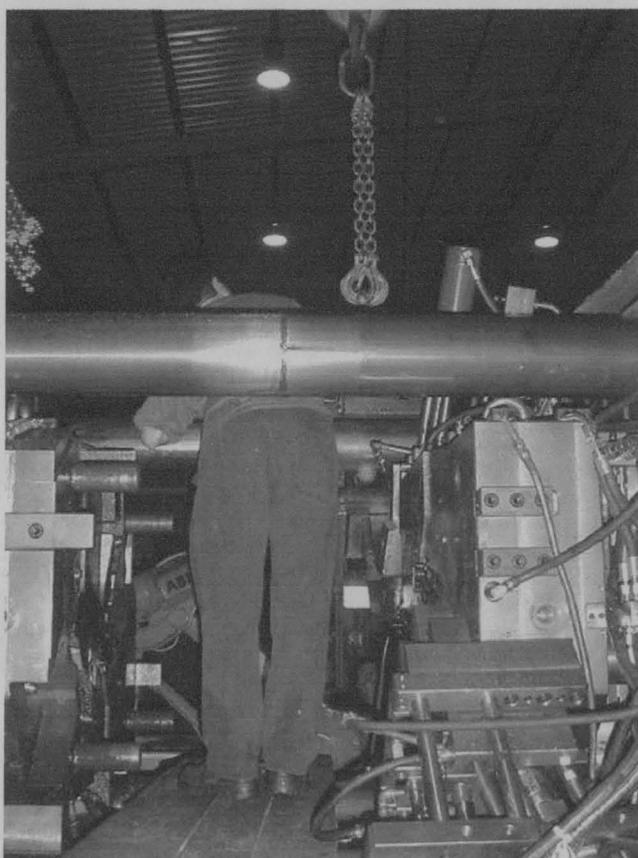


Figura 39 – Assistência na Máquina de Injecção

4 – Estágio no Laboratório de Metrologia

Uma das etapas da elaboração de um projecto consiste na passagem pelo laboratório de metrologia. As principais funções desse são:

- Recepção e aprovação de meios de controlo de qualidade para peças, por exemplo: pinças, TLD's, suportes de medição e outros.
- Idealização de meios de controlo.
- Aprovação de moldes.
- Aprovação de maquinaria.
- Elaboração de programas de medição na 3D.
- Estudos de capacidade.
- Calibração de equipamentos.

Estas funções são executadas por quatro técnicos especializados, estando um deles responsável apenas pela calibração de equipamentos.

Este Laboratório está dotado de dois aparelhos de ar condicionado que permitem manter a temperatura entre os 18-23°C, de acordo com a instrução que rege o ambiente de um laboratório (a temperatura ideal 20°C). Consegue-se assim garantir a repetibilidade requerida na medição das cotas.



Figura 1 – Laboratório de Metrologia

Foi no laboratório de metrologia que entrei em contacto, pela primeira vez, com o *FMEA*. Por se tratar do primeiro e mais importante passo em termos de planeamento do projecto, optei por fazer um breve resumo do mesmo.

4.1 – FMEA

Um *FMEA*, *Análise Modal de Falhas e Efeitos Potenciais*, pode ser descrito como um grupo de actividades sistemáticas, que tem o objectivo de: reconhecer e avaliar possíveis falhas de um produto ou processo; identificar acções que possam eliminar ou reduzir a probabilidade do modo de falha ocorrer e documentar o processo de análise. O *FMEA* é uma técnica complementar ao processo de desenvolvimento do projecto e faz com este satisfaça plenamente os requisitos e necessidades dos clientes.

Apesar de sempre terem sido realizadas análises semelhantes à análise *FMEA*, a primeira aplicação formal foi uma inovação introduzida na industria aeroespacial em meados dos anos 60.

A análise *FMEA* pode ser aplicada a sistemas, produtos, processos industriais, equipamentos e, até mesmo, a assuntos menos tangíveis como logística ou fluxos de informação. É usada para identificar os possíveis modos pelos quais o fracasso pode acontecer, as causas correspondentes do fracasso, os efeitos correspondentes a esse fracasso e o impacto na satisfação do cliente.

O compromisso de uma empresa é melhorar continuamente os seus produtos ou processos. Por isso, é importante o uso do *FMEA* como técnica disciplinada para identificar e ajudar a eliminar problemas potenciais.

Embora seja necessário que a responsabilidade pela execução do *FMEA* seja delegada a um indivíduo, este deve ser fruto do trabalho de uma equipa composta por representantes de todas as fases, etapas ou tarefas existentes no processo ou produto analisados.

Um dos factores mais importantes para a implementação com sucesso de um *FMEA* é o momento oportuno em que este é realizado. O *FMEA* deve ser uma acção a ter lugar antes do evento e não um exercício a *posteriori*. Para obter os melhores resultados, o *FMEA* deve ser realizado antes de um modo de falha de um projecto ou processo ter sido incorporado no produto.

O tempo gasto, no início do projecto, na execução correcta de um *FMEA*, quando as alterações de projecto e processo podem ser implementadas mais

facilmente e com menores custos, é compensado por poder vir a aliviar as crises que seriam provocadas por alterações tardias. Um *FMEA* pode reduzir ou eliminar a hipótese de implementar uma alteração que poderia provocar um problema ainda maior. Correctamente aplicado, é um processo interactivo sempre presente.

A análise *FMEA* divide-se em duas partes distintas; o *FMEA de Projecto* e o *FMEA de processo*.

4.1.1 - *FMEA* de Projecto

É uma técnica analítica, utilizada pela equipe de projecto, com a finalidade de assegurar que, na extensão do possível, os modos potenciais de falha e suas causas associadas, sejam considerados e indexados. Devem ser avaliados os produtos finais, subsistemas, componentes e sistemas associados. Esta abordagem sistemática acompanha, formaliza e documenta as linhas de pensamento que são normalmente percorridas durante o desenvolvimento de um projecto.

O *FMEA de Projecto* dá suporte ao desenvolvimento do componente reduzindo as falhas por:

- Auxiliar na avaliação objectiva dos requisitos do projecto e soluções alternativas.
- Considerar os requisitos de produção e montagem já no projecto inicial.
- Aumentar a probabilidade de que os modos de falha potenciais e seus efeitos nos sistemas tenham sido considerados no processo de desenvolvimento.
- Proporcionar informações adicionais para ajudar no planeamento de programas de desenvolvimento e de ensaio do projecto.
- Desenvolver uma lista de modos de falha potencial e proceder à sua classificação de acordo com os seus efeitos na satisfação do cliente.
- Proporcionar uma forma de documentação aberta para recomendar e rastrear acções para redução de risco.
- Proporcionar referências que possam ser úteis para uma análise futura de problemas em campo, na avaliação de alterações de projecto e no desenvolvimento de projectos avançados.

A execução de um *FMEA de Projecto* começa pelo desenvolvimento de uma lista que contenha os itens do que se espera do projecto, isto é, do objectivo do mesmo e do que é necessário para o atingir. Devem ser incorporadas as necessidades e expectativas do cliente. Quanto mais pormenorizada for a definição das características desejadas, mais fácil será identificar os modos de falha potencial para a acção correctiva.

O passo seguinte será a construção de um diagrama de blocos para o sistema, sub-sistema e ou componente analisado. O objectivo é indicar claramente as entradas (inputs), o processo desenvolvido (função) e as saídas (outputs) dos blocos. O diagrama ilustra as relações primárias entre os itens cobertos na análise e estabelece uma ordem lógica para a mesma. Cópias dos diagramas utilizados devem acompanhar o *FMEA*.

De forma a facilitar a documentação da análise das falhas potenciais e suas consequências, é desenvolvido um formulário que será preenchido pela equipe de projecto aquando da reunião ou reuniões de *FMEA*. A aplicação do mesmo é descrita de seguida, sendo indicados os pontos essenciais que deverão estar presentes.

Item/Função:	Definição concisa da função do item para cumprir o objectivo do projecto. Se o item tem mais do que uma função, estas devem ficar descritas separadamente.
Modo Potencial de Falha:	<p>É definido como a forma pela qual um componente, sistema ou sub-sistema potencialmente falharia ao cumprir o objectivo de projecto.</p> <p>Devem ficar listados todos os modos de falha potencial para o item e sua função. Assume-se que a falha pode ocorrer, mas que não tem que necessariamente acontecer. O ponto de partida deve ser uma análise crítica de problemas passados e a discussão em equipa.</p> <p>Modos de falha genericamente poderão ser: produto oxidado, produto deformado, produto fracturado, etc. Modos de falha que apenas ocorrerão sob certas condições de uso também devem ser considerados (ex.: terreno acidentado,</p>

	calor, frio, etc.)
Efeitos Potenciais de Falha:	<p>São definidos como os efeitos dos modos de falha na função, assim como são percebidos pelo cliente.</p> <p>O objectivo é que a equipa de projecto consiga prever os efeitos da falha. Estes podem ser: aparência degradada, operação defeituosa, inoperância, barulho, etc.</p>
Severidade:	<p>A factor de severidade descreve o grau de funcionalidade que é reduzido em resultado do fracasso. O factor de severidade é avaliado por uma escala de "1" a "10", em que uma pontuação alta implica funcionalidade seriamente reduzida e uma pontuação baixa representa pequeno ou nenhum efeito. Por exemplo, uma pontuação de "1" poderia significar que o cliente não notaria que um fracasso aconteceu, "8" poderia representar um sério problema para o cliente e "10" um grave perigo de segurança ou não conformidade com os regulamentos.</p> <p>A determinação da escala e do seu significado fica ao cargo da equipa de projecto.</p>
Causas Potenciais de Falha:	<p>É definida como uma indicação de uma deficiência do projecto, cuja consequência é o modo de falha. Devem ser listados, o mais completo possível, todos os mecanismos e/ou causas de falha concebíveis para cada modo de falha.</p> <p><i>Causas de falhas</i> típicas podem incluir: especificação incorrecta do material, consideração inadequada da vida do projecto, protecção do meio ambiente insuficiente, etc.</p> <p>Mecanismos de falha típicos são a fadiga, a corrosão, o desgaste, a fluência, etc.</p>
Ocorrência:	<p>A probabilidade de uma causa potencial de falha ocorrer, pode ser indexada por uma escala de "1" a "10", indicando um número alto fracassos mais</p>

	<p>prováveis. Por exemplo, o índice 1, indicaria 1 fracasso em 100 000, e o índice 10 uma probabilidade de 1 fracasso em 20.</p> <p>A determinação da escala e do seu significado fica ao cargo da equipa de projecto.</p>
Controlos Actuais:	<p>É criada uma listagem de actividades de prevenção, validação e verificação do projecto que irá assegurar a adequação do mesmo para o modo de falha e/ou causa/mecanismo considerado.</p> <p>Existem três tipos de controlos de projecto: prevenção da ocorrência da causa ou modo de falha, detecção da causa e promoção de uma acção correctiva e detecção do modo de falha.</p>
Detecção:	<p>O factor de detecção descreve a probabilidade do fracasso não ser detectado pelo processo, antes do produto ou sistema ser usado pelo cliente. Novamente, pode ser avaliado por uma escala de "1" a "10", onde uma pontuação de "1" indica que o fracasso será sempre detectado e uma pontuação de "10", que o fracasso não será detectado até chegar ao cliente.</p> <p>A determinação da escala e do seu significado fica ao cargo da equipa de projecto.</p>
Número de Prioridade de Risco:	<p>É o produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D).</p> $NPR = S \cdot O \cdot D$ <p>É uma medida de risco para o projecto.</p> <p>Quanto mais alto o índice resultante, mais urgente é a necessidade em achar uma solução. Na fase de prevenção, os modos de falha mais perigosos são identificados por análise do valor do NPR, aquando da reunião de FMEA pela equipa de projecto. Será a mesma a responsável pelo desenvolvimento de soluções que impeçam que</p>

	os modos de falha ocorram.
Acções Recomendadas:	<p>Quando os modos de falha estiverem classificados pelo NPR, devem ser propostas acções correctivas para os ítems críticos com elevados índices de NPR. O objectivo das acções recomendadas é reduzir o índice de ocorrência, de severidade ou de detecção.</p> <p>A redução do índice de ocorrência só pode ser atingida pela eliminação ou controlo de uma ou mais causas potenciais de falha, através de alterações no projecto. Apenas uma alteração no projecto pode causar uma redução no índice de severidade.</p>

Para além dos indicados, devem ser incluídos elementos mais genéricos respeitantes à identificação do produto, responsáveis do projecto, datas execução, etc.

4.1.2 - FMEA de Processo

De uma forma geral o *FMEA de Processo* é em tudo semelhante ao de Projecto. Apenas o alvo em análise difere pois, se antes o projecto era analisado como um todo, aqui apenas nos preocupamos com questões resultantes do processo de execução, para a obtenção de um bom produto.

Assim, os passos indicados anteriormente deverão ser repetidos na execução do *FMEA de Processo*, salvaguardando que se:

- Identificam os modos de falha potencial do processo, relacionados ao produto.
- São avaliados os efeitos potenciais da falha no cliente.
- Procede à correcta descrição das causas potenciais de falha do processo de produção ou montagem e das variáveis que deverão ser controladas para a redução da ocorrência ou melhoria da eficácia da detecção de falhas.
- Classifica modos de falhas potenciais, estabelecendo assim um sistema de prioridades para acções correctivas.
- Documentam os resultados do processo de produção ou montagem.

4.2 – Principais Equipamentos de Medição

Para que se executem as funções mencionadas anteriormente, de modo a garantir a sua correcta elaboração, é necessário o uso de equipamentos de medição.

Os principais equipamentos são os que se seguem.

4.2.1 – Máquina de Medição 3D

Esta máquina é um dos equipamentos mais utilizado no Laboratório, pois permite a elaboração de um programa que verifica as cotas da peça.

Quando um molde se encontra em ensaio, são seleccionadas peças aleatoriamente de ambas as cavidades para que possa ser elaborado um programa de medição que posteriormente será automatizado. Essa automatização serve para efectuar medições em várias peças ao longo dos ensaios até que o molde e a maquinagem sejam aprovados. Este programa é posteriormente enviado para o controlo de processo, isto é, para o laboratório de metrologia de produção que, ao longo da produção da peça, irá efectuar o controlo das cotas com uma periodicidade a estabelecer.



Figura 2 – Máquina 3D da Bronw&Sharp

Na figura em cima podemos observar uma peça colocada no suporte de apoio de modo a que sejam retiradas as cotas necessárias.

O modo de aquisição de cotas processa-se da seguinte forma: o suporte é colocado na mesa da máquina na posição pré-definida; em seguida é corrido o programa de aquisição de alguns pontos específicos do suporte para que a 3D localize com precisão o apoio na mesa. Depois é colocada a peça e retirado o ponto zero da mesma de modo a que se possa dar início á obtenção das cotas desejadas.

Esta máquina tem a capacidade de efectuar medições segundo X, Y e Z, o que lhe confere grande liberdade.

A figura seguinte mostra-nos os vários tipos de ponteiras utilizados, dependendo das zonas que vão efectuar a medição. Em alguns casos, ao longo de um programa automático, é necessário trocar de ponteira.

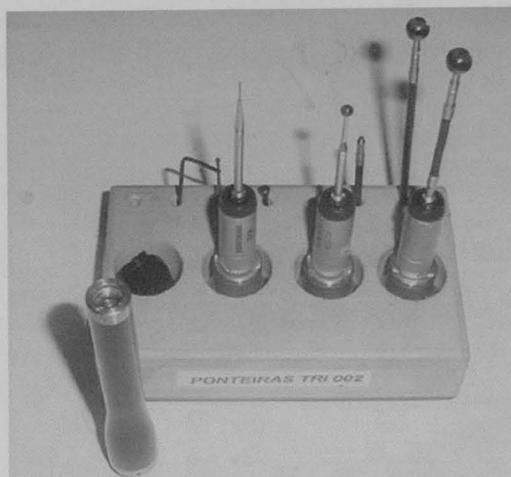


Figura 3 – Ponteiras da Máquina 3D

4.2.2 – Projector de Perfis

A principal diferença entre o Projector de Perfis e a Máquina de medição 3D, é que esta só retira cotas a duas dimensões.

Esta máquina possui uma lente que amplia a peça 10x, permitindo que se retirem cotas com uma precisão de milésimas de mm. A peça é colocada na mesa de trabalho da máquina em paralelo com a face da mesma. De seguida, é encontrado o ponto zero que é marcado na consola. A partir deste momento, podemos retirar todos os pontos que quisermos, de modo a acharmos as cotas que necessitamos no plano paralelo à mesa. Na figura seguinte podemos identificar a consola, o visor de ampliação e a mesa de trabalho.



Figura 4 – Projector de perfis

4.2.3 – Outros Instrumentos de Medição

Os instrumentos referidos de seguida servem para obter cotas que:

- Não tenham sido retiradas na 3D, devido ao suporte ou, no projector de perfis, por não se conseguir garantir o ponto zero.
- Complementem o estudo das cotas existentes no desenho.
- Não justifiquem a colocação da peça na 3D ou no projector de perfis.

4.2.3.1 – Paquímetro

É de longe o instrumento mais utilizado, pois, além de obter uma elevada precisão na medição (centésimas de milímetro), é de fácil manuseamento, permitindo retirar diâmetros interiores e exteriores, distâncias e profundidades. O laboratório está equipado com paquímetros analógicos e digitais sendo os últimos os mais utilizados.

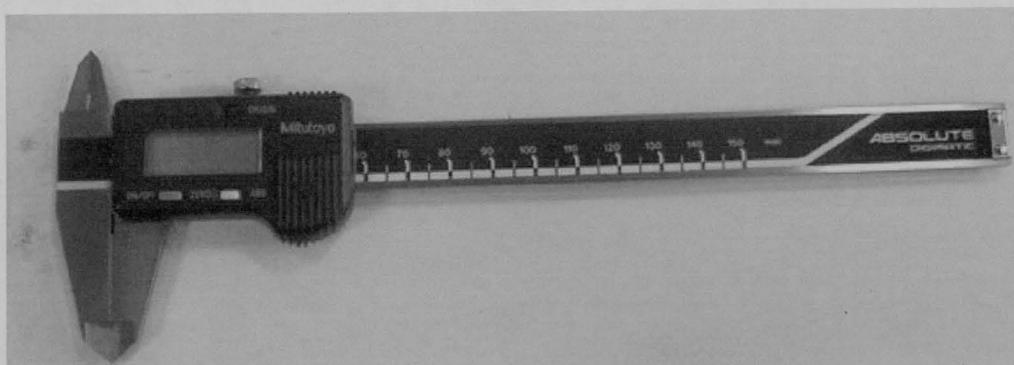


Figura 5 – Paquímetro Digital

4.2.3.2 – Graminho

Este instrumento é utilizado para medir alturas nas peças e tem uma precisão de centésimas de milímetro. Podem-lhe ser acoplados um comparador (de modo a obter o zero) ou um riscador (para marcar alturas), para além de outras ferramentas. Normalmente é utilizado em conjunto com o micrómetro vertical para que se possa realizar a troca das ferramentas sem que seja necessário realizar o zero.



Figura 6 – Graminho com Comparador acoplado

4.2.3.3 – Micrómetros de Interiores, Exteriores e Profundidade

Estes micrómetros são utilizados quando se pretende obter precisões de milésimas de milímetro nas medições realizadas. Têm uma menor taxa de utilização, mas não deixam de ser indispensáveis num laboratório de metrologia. Os micrómetros de interiores e exteriores permitem medir diâmetros e distâncias, enquanto o de profundidade, como o próprio nome indica, mede profundidades.



Figura 7 – Micrómetro Exterior

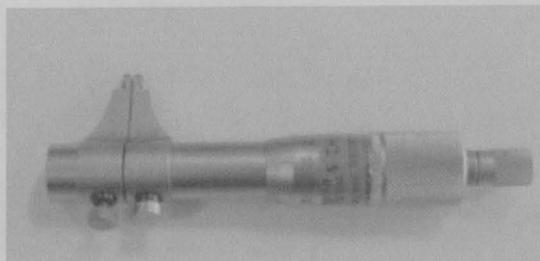


Figura 8 – Micrómetro Interior

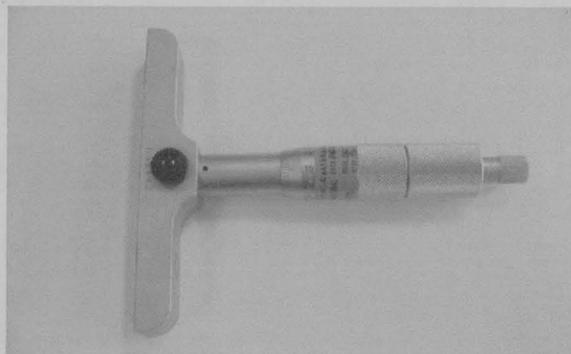


Figura 9 – Micrómetro de Profundidade

4.2.3.4 – Rugosímetro

Este aparelho tem como função medir a rugosidade na zona alvo de estudo, encontra-se ligado a um computador no qual são obtidos gráficos. As normas pelas quais é possível retirar valores e, respectivos referenciais são:

- ISO/DIN/SEP: Ra, Rz, R_{máx}, R_k
- JIS: Ra, Rz

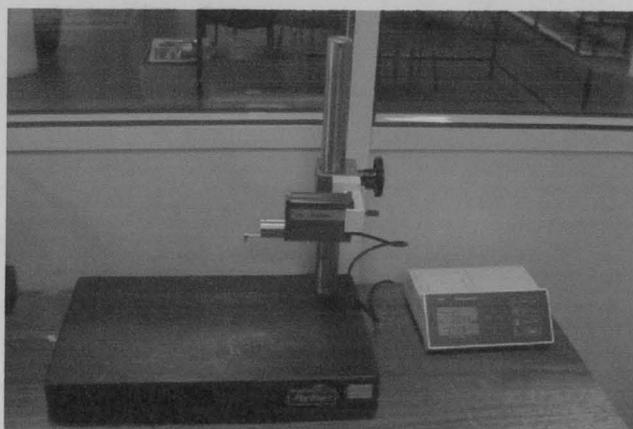


Figura 10 - Rugosímetro

4.2.3.5 – Micrómetros Digital de Diâmetros Interiores

Este instrumento permite efectuar medições de diâmetros interiores com uma precisão de milésimas de milímetro. É possível adaptar ponteiras dependo do diâmetro em questão. O zero destes equipamentos é realizado com um padrão me modo a garantir a precisão do instrumento.

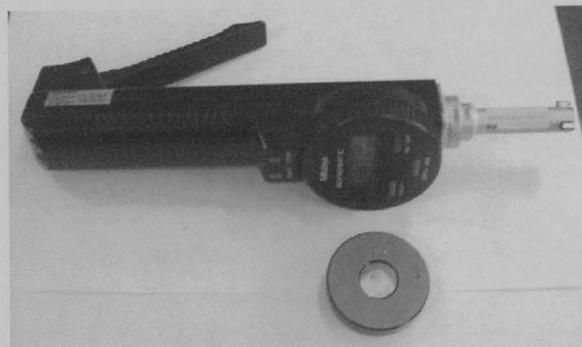


Figura 11 - Micrómetro Digital e bloco Padrão

4.3 – Calibrações

Todos os equipamentos e instrumentos são alvo de calibração ao fim de um determinado tempo. Esse tempo varia com o tipo de equipamento ou instrumento em questão, podendo a calibração ser realizada internamente ou no exterior por uma empresa devidamente certificada. A Tabela seguinte indica-nos os períodos máximos de calibração, assim como se é realizada interna ou externamente.

EQUIPAMENTOS	PERÍODO MÁXIMO CALIBRAÇÃO	TIPO DE CALIBRAÇÃO I – INTERNA / E - EXTERNA
PAQUÍMETROS \leq 150mm	1 ANO	I
PAQUÍMETROS $>$ 150mm	2 ANOS	I
MICRÓMETROS \leq 150mm	1 ANO	I
MICRÓMETROS $>$ 150mm	2 ANOS	I
MICRÓMETRO DE ALTURAS	5 ANOS	E
COMPARADORES	1 ANO	I
CALIBRES	1 ANO	I/E
RUGOSÍMETRO	1 ANO	I
PROJECTOR DE PERFIS	1 ANO / Função resultado interno	I
MÁQUINA TRIDIMENSIONAL	6 MESES (Verificação)/Função resultado verificação	I
PLANO GRANITO	5 ANOS	E
BLOCOS PADRÃO	5 ANOS	E
PEÇAS PADRÃO	5 ANOS	I
PINOS CALIBRADOS	1 ANO	I

Tabela 1

Nestas operações de calibração são usados blocos e pinos padrão. Para cada instrumento de medição existem, pré-definidos no manual operativo de qualidade, padrões a serem usados na realização da calibragem em questão. Este manual explica em pormenor como deverão ser realizadas as calibrações.

Na figura que se segue podemos observar blocos padrão usados para efectuar calibrações.

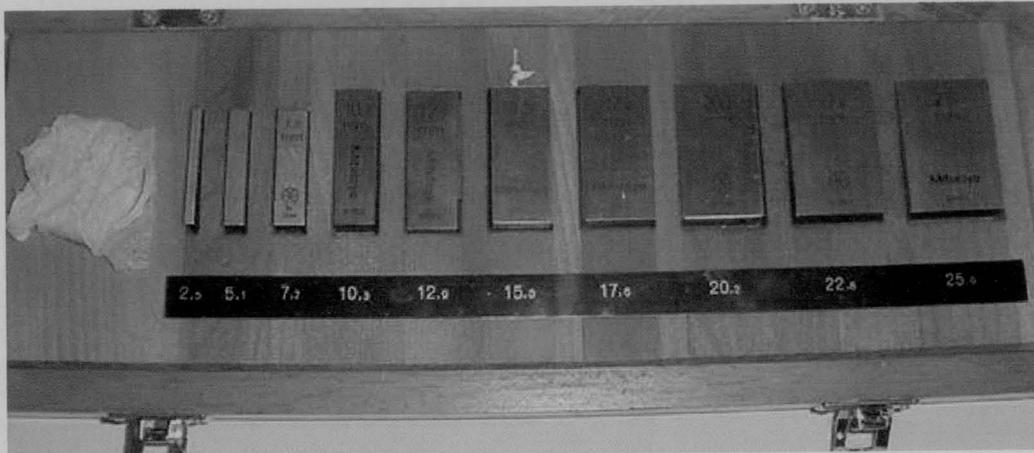


Figura 12 – Blocos Padrão

4.4 – Meios de Controlo na Produção

Os meios de controlo referidos anteriormente são utilizados principalmente na fase de ensaio. Mas ao longo da produção são utilizados outros meios de controlo que foram idealizados pelo Laboratório de Metrologia.

Tendo-me apercebido que o controlo de qualidade do produto ao longo da produção é de extrema importância, vou referir de seguida os meios de controlo de qualidade utilizados na produção da peça em estudo no projecto.

4.4.1 – Controlo na Fundição

Em cada máquina de fundição existe um posto de controlo no qual é colocado um gabarito correspondente à peça fundida nessa máquina. São também colocadas fichas pedagógicas a acompanhar o gabarito, que têm como função indicar ao operador quais os principais defeitos que deve procurar na peça, e como realizar o controlo com o gabarito e de quanto em quanto tempo deverá efectuar o controlo. Na figura 13 podemos observar o gabarito e as fichas pedagógicas utilizadas para a peça alvo do Projecto de Fim de Curso. Este gabarito possui TLD's (tampões lisos duplos) para furos e anéis.

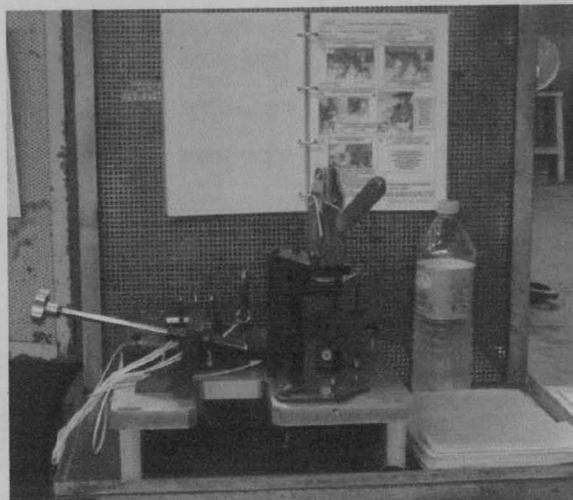


Figura 13 – Posto de Controlo

4.4.2 – Controlo na Maquinagem

A peça em questão é maquinada, depois é lavada e seca. Após estas operações, todas as peças são submetidas a um controlo de estanquicidade pois, esta peça faz a circulação de dois fluidos no seu interior não podendo haver fuga nem no interior nem para o exterior. Para tal é usada uma máquina especificamente concebida para o efeito.

Em baixo podemos observar a máquina e verificar que é possível efectuar este controlo simultaneamente em duas peças.

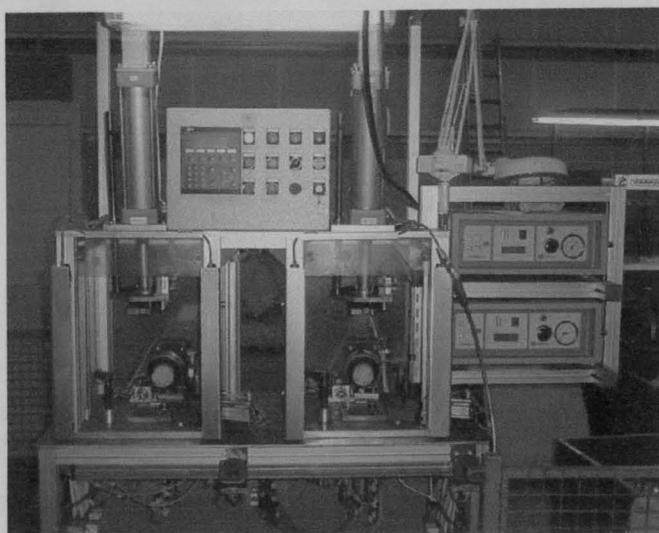


Figura 14 – Máquina para Controlo de estanquicidade

O controlo dimensional, efectuado após maquinagem, não é realizado em todas as peças, apenas são submetidas cinco peças de 2 em 2 horas. Este intervalo, entre cada controlo, é estabelecido através de um estudo de capacidade.

Para a elaboração deste controlo, foi adquirido um aparelho que: para além de efectuar o controlo dimensional realiza o tratamento estatístico das medições efectuadas, ou seja, o estudo de capacidade e os gráficos inerentes ao mesmo. Para a peça em questão são realizadas medições em sete locais.

Na figura abaixo podemos observar o equipamento referido.

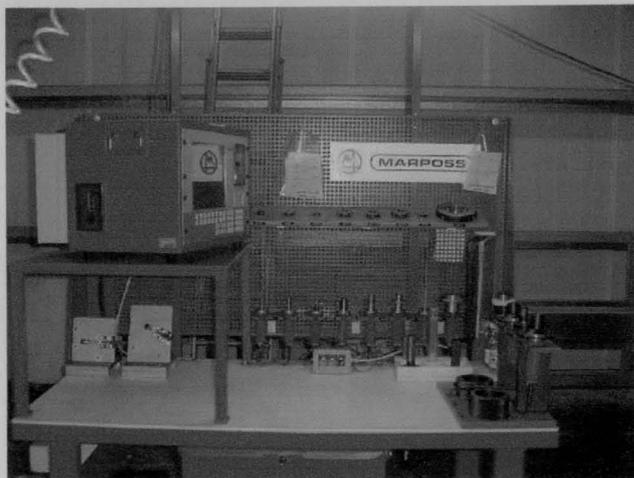


Figura 15 – Posto de medição após maquinagem

5 – Projecto de Fim de Curso

A peça apresentada é um componente de um motor, e tem uma função bastante importante neste. Sistemáticamente o processo produz peças com poros que põem em causa a sua funcionalidade.

A finalidade deste projecto de fim de curso é, a eliminação da porosidade encontrada em duas zonas dessa peça. Com o consentimento do cliente, será possível que algumas das alterações sejam implementadas neste molde, ficando as restantes para o segundo. Por motivos de confidencialidade, exigida pelo cliente, a peça que vai ser analisada não será mostrada na totalidade, cingindo-me apenas à parte afectada pela porosidade.

5.1 – A Peça

A parte da peça em estudo, após ter sido maquinada, é apresentada de figura. Será tanto na parte superior como na parte inferior da peça, que serão efectuadas as alterações necessárias para a resolução do problema.

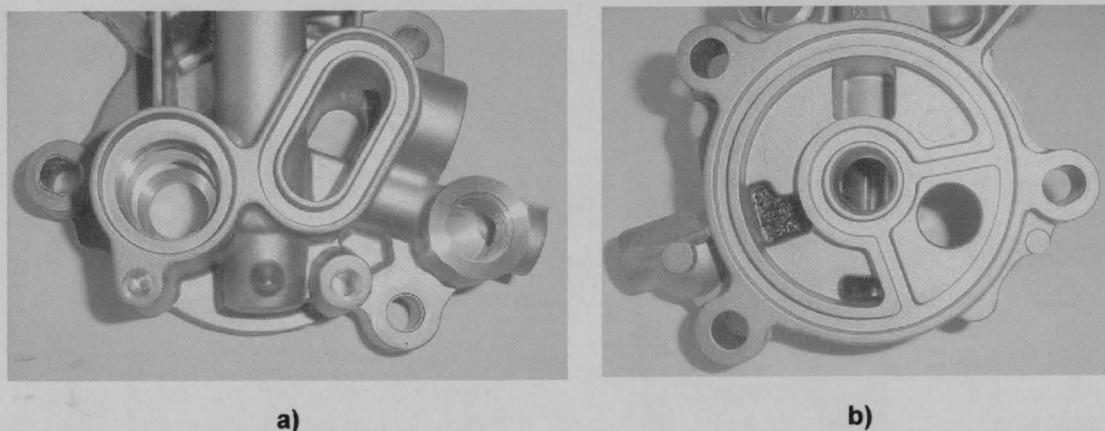


Figura 1 – (a) Vista Superior da peça; (b) Vista Inferior da peça;

5.2 – Identificação e Localização da Porosidade

Na fundição injectada, a porosidade é um dos defeitos mais comuns. Ela pode ser ocasionada pelos seguintes factores:

- Aprisionamento de gás no material.

- Contração do material durante a solidificação (rechupe).

No primeiro caso, as bolhas de gás surgem na peça ao longo da fase de enchimento, enquanto no segundo, surgem ao longo do arrefecimento, isto é, na fase de solidificação.

Os poros encontrados nas peças por aprisionamento de gás têm, por norma, uma forma circular/oval, enquanto que a porosidade por contração tem geralmente uma forma dendrítica.

Na peça em questão, as zonas nas quais se pode encontrar porosidade são definidas na figura abaixo, onde se pode observar a peça granalhada. A porosidade encontra-se nos locais assinalados pelas elipses com principal incidência na zona apontada pelas setas.

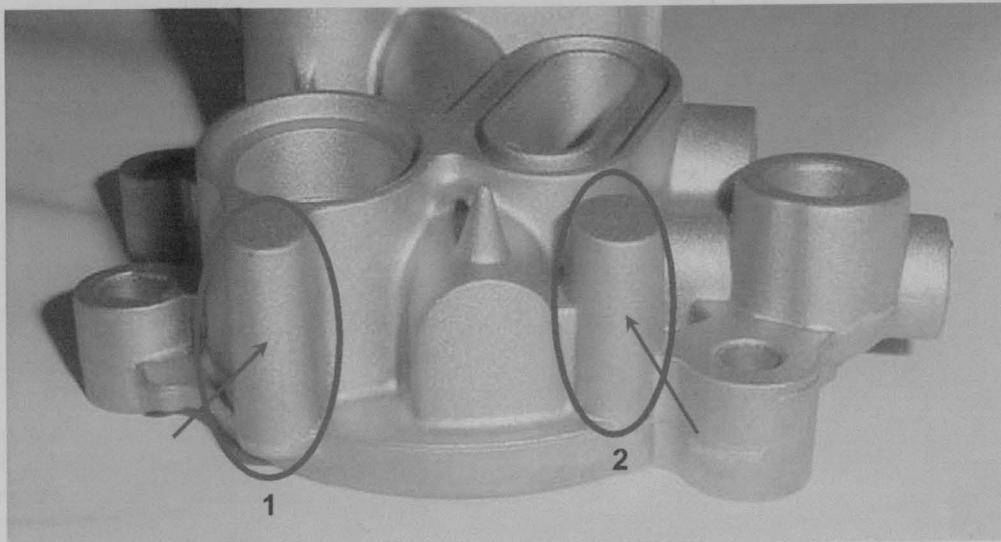


Figura 2 – Zonas de Porosidade

Como na figura 2, as zonas de porosidade serão designadas por 1 e 2 no texto.

Os primeiros sinais de porosidade foram detectados enquanto se realizavam os ensaios de maquinagem. Nesta as zonas em questão são furadas com uma broca de diâmetro 5,5mm a uma profundidade de 13,5mm, e, posteriormente, são abertas roscas M6.

Os poros encontrados podem ser observados na imagem seguinte.

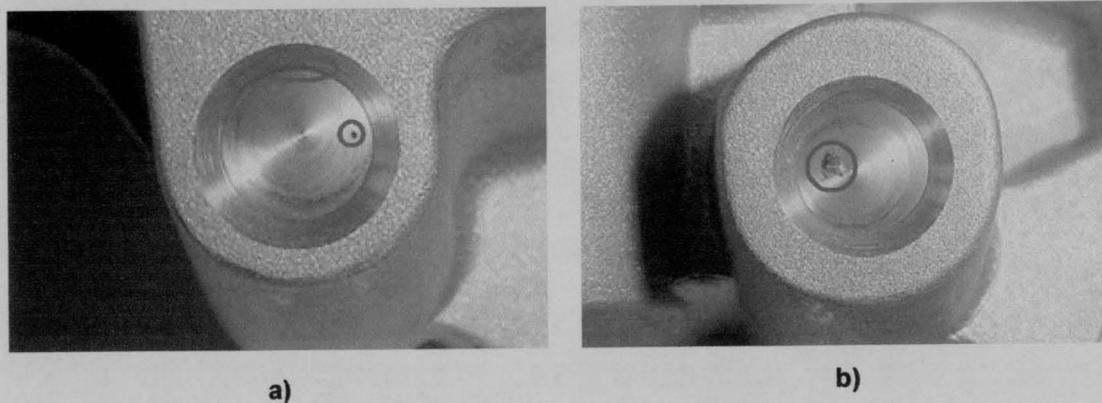


Figura 3 – (a) Poros na zona 1 após Maquinagem; (b); Poros na zona 2 após Maquinagem

Para que se pudesse ter uma melhor noção do posicionamento e tipo de poros, optei por realizar um Raio X, a cada uma das zonas, numa peça maquinada.

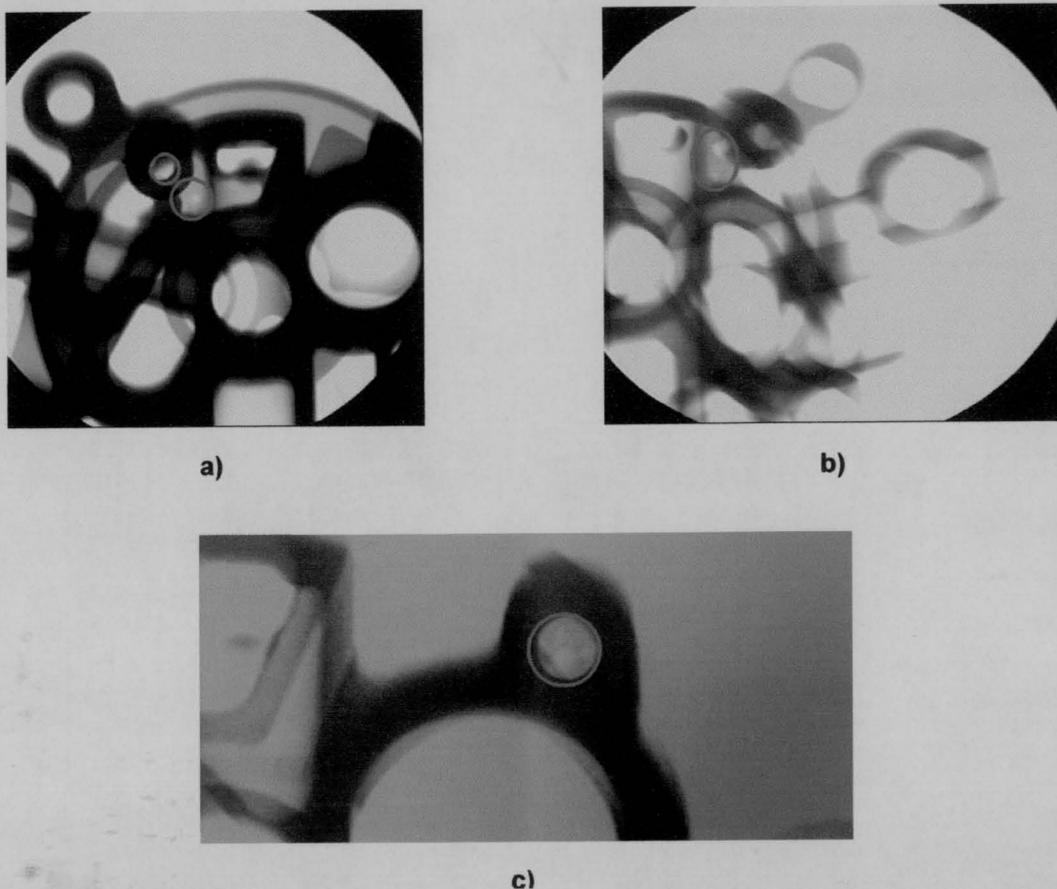
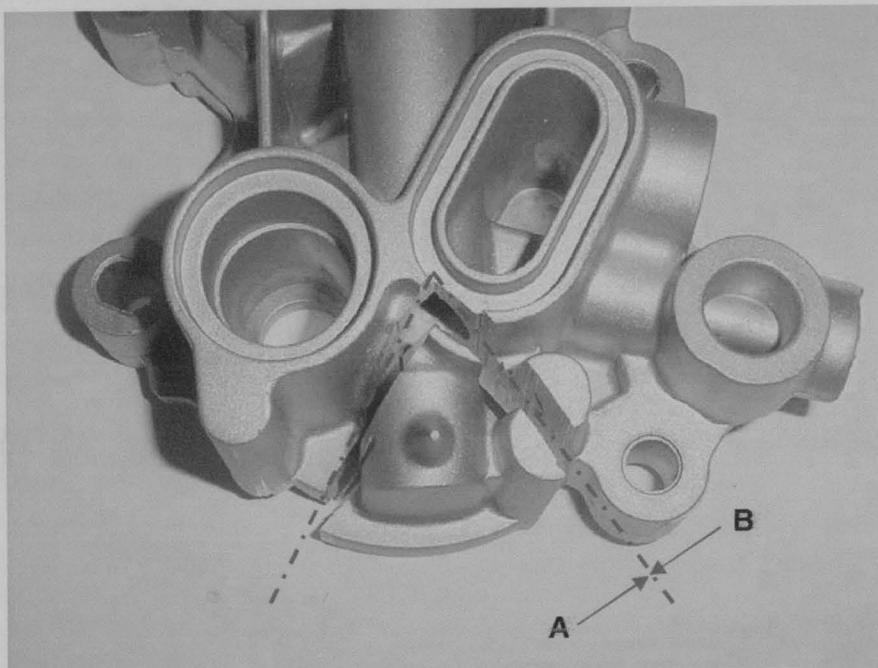


Figura 4 – (a),(b) Rx da porosidade na zona 2; (c) Rx da porosidade na zona 1

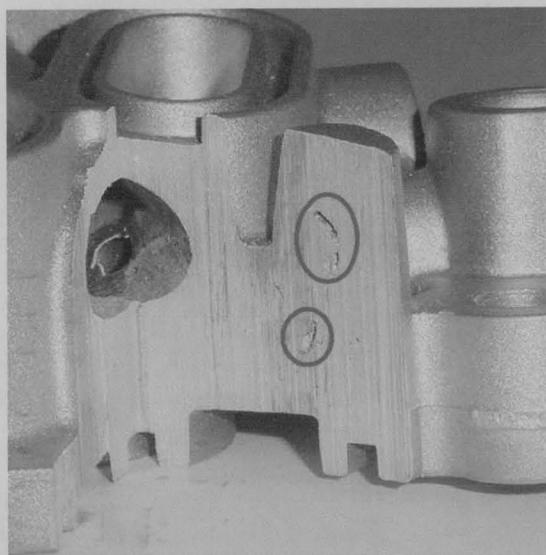
De seguida, para melhor visualização do defeito, efectuei um corte na zona 2, numa peça granalhada e sem qualquer tipo de operação de maquinagem. Podemos observar nas figuras abaixo a secção de corte, e duas vistas em pormenor dos poros

em questão. É nesta zona que a porosidade é mais crítica, devido à maior espessura e a uma geometria mais complicada.

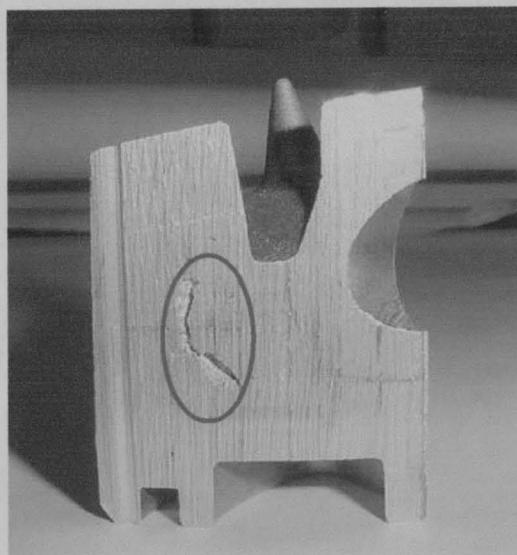
A porosidade da zona 1 é semelhante a esta, na medida em que esta também possui uma elevada espessura.



a)



b)



c)

Figura 5 – (a) Secção de corte; (b) Vista A; (c) Vista B

No interior dos círculos a vermelho podemos observar os poros dendríticos que atingem a espessura. Estes poros vão afectar principalmente a estanquicidade da

peça uma vez que esta obedece a parâmetros bastante rigorosos, pois realiza a circulação de dois fluidos.

Através dos Raio X e dos cortes realizados, e com os conhecimentos adquiridos no primeiro semestre, foi-me possível identificar que tipo de porosidade atinge a peça. Os poros encontrados são, sem dúvidas, causados pela contracção do material.

Esta porosidade surge, como consequência da grande espessura das zonas em questão. Uma espessura de aproximadamente 25mm é muito elevada para a fundição injectada. Aliando esta característica da peça à sua espessura média, 3mm, é fácil compreender que surjam "shrinkages" (poros por contracção ou rechupes).

É importante, referir o processo de formação de porosidades por contracção: o material ao preencher a cavidade (em centésimos de segundo), começa imediatamente a solidificar, ficando num estado semi-sólido, isto é, há uma solidificação na fronteira do material, junto ao aço, ficando o interior ainda líquido e a uma temperatura elevada relativamente ao material periférico. Conforme se vai dando o arrefecimento, a porosidade vai surgir nos designados pontos quentes. Estes têm tendência a localizar-se na zona central da espessura por ser a ultima a arrefecer, logo, a mais quente. Tendo o alumínio no estado liquido maior volume que no estado sólido, à medida que vai arrefecendo, contrai-se na direcção das zonas mais frias (sólidas) e vai perdendo volume "rasgando" nos pontos quentes. É este tipo de comportamento do material que provoca os poros dendríticos.

5.3 – Parâmetros de Injecção

Através do conhecimento dos parâmetros de injecção, podemos efectuar algumas alterações, de modo a tentar solucionar o problema.

Para esta peça os principais parâmetros de injecção foram definidos por:

PISTÃO de Ø80 mm	Fase de Injecção	Deslocamento (mm)	Velocidade (m/s)
	1º Fase	10	0,10
	2º Fase	415	0,10
	3º Fase	430	3,80

Fase de Injecção	Tempo (s)	Pressão (bar)
1º Fase	0	300
2º Fase	0,050	300
3º Fase	0,080	1000

Temperatura do molde: 160°C

Tempo de solidificação: 16s

Tempo por ciclo de injecção: 80s

5.4 – Correções Possíveis sem Alteração da Cavidade

Para este tipo de defeito, existe uma lista de correções possíveis sem que a cavidade seja alterada. Passo então a enumera-las bem com as suas verificações.

Correções:

1. *Aumentar a pressão do metal no estado semi-sólido (no local da porosidade) durante a solidificação.*

Não é possível aumentar a pressão do metal semi-sólido, pois as zonas em questão encontram-se afastadas da zona de ataque, sendo a espessura média da peça até às zonas de porosidade de 3mm. Aumentando a pressão não surte efeito, pois a peça solidifica primeiro nas zonas mais finas, isolando as mais grossas.

2. *Verificar se há problemas de pressão.*
 - *A pressão metalo-estática deve estar correcta:*
 - i. *No mínimo 200 bar para o alumínio.*
 - *A pressão do multiplicador deve estar correcta:*
 - i. *Uma pressão específica final no metal de 550 bar é desejável (mais de 400 bar pode ser suficiente)*
 - *Verificar os parâmetros do multiplicador:*
 - i. *Verificar as pressões.*
 - ii. *Verificar se o acumulador do multiplicador está devidamente carregado, se o cilindro do multiplicador não está a recuar, etc.*
 - iii. *Verificar o tempo de subida de pressão no monitor (estipular um padrão desejado), assegurar que a multiplicação está a actuar suficientemente rápido, verificar os parâmetros seleccionados.*

iv. Pré-carga do acumulador correcta.

- *Problemas do pistão que reduzem a pressão:*
 - i. Mau estado da cabeça do pistão (mesmo se não houver “sopro” de metal através deste).*
 - ii. Mau estado da camisa.*
 - iii. Solda no fim da camisa.*
 - iv. Verificar se há contracção da camisa por calor (camisa comprimida pelo molde).*
 - v. Arrefecimento do pistão não operacional.*
 - vi. Lubrificação inadequada.*
 - vii. Mau arrefecimento da camisa.*
 - viii. Câmara quente: verificar os segmentos do pistão*
 - ix. Câmara quente: se os topos do pistão estiverem em bom estado, mudar o sifão.*

Todas estas verificações foram efectuadas pelo controlo de processo não tendo sido necessário substituir nenhum dos componentes enunciados.

3. Alimentar o ponto de problema com metal adicional.

Esta correcção não foi implementada, porque a adição de material à zona em questão nada alteraria, visto que o problema não é a falta de material, mas sim a sua contracção.

A tecnologia de “sequeze pin” não foi introduzida, por não haver espaço suficiente (devido aos masselotes), por requerer uma elevada manutenção e pelos custos muito elevados que a sua concepção, tanto ao nível de projecto como de elaboração, exigiria.

4. Bolacha demasiado fina ou de dimensões com demasiada variação.

A bolacha não é demasiado fina nem existem grandes variações de dimensão.

As dimensões são: Ø83x28mm, com uma saída de 2º graus.

5. Verificar a diferença de temperatura entre o local da porosidade e a área circundante.

- *Aquecer as zonas frias circundantes.*
- *Arrefecer o ponto quente (local de porosidade).*
- *Verificar a diferença de temperaturas entre os meios moldes.*

Os três factores de correcção expostos foram explorados, sendo efectuadas medições de temperatura no molde. Chegou-se à conclusão de que a alteração da temperatura do molde não teria grande impacto na porosidade devido à elevada espessura das zonas.

6. *Temperaturas mais baixas de injeção podem ajudar, mas cuidado para não provocar outro tipo de problemas.*

Neste caso quando se diminuía a temperatura do material, verificava-se um mau enchimento da cavidade em alguns locais.

7. *Verificar os elementos de Liga (Silício, ferro).*

A análises efectuadas no laboratório de metalurgia através do espectrômetro não revelaram qualquer anomalia da liga AlSi9Cu3.

8. *Verificar flutuações de temperatura no metal (ter atenção a intervalos demasiado grandes de variação, a temperatura deve ser estável).*

Não se verificam grandes intervalos de temperatura no material.

Infelizmente, no caso em questão, não foi possível, através de nenhuma destas correcções, garantir a eliminação do problema, sendo necessário alterar a cavidade nas duas zonas em questão.

5.5 – Molde

A zona do molde que pretendemos alterar de modo a solucionar o problema da porosidade é apresentada em seguida. Na figura abaixo podemos observar a cavidade relativa ao molde fixo para as zonas em questão. Os círculos a vermelho indicam quais as zonas que irão sofrer alterações.



Figura 6 – Secção do molde fixo

Em baixo, podemos observar a secção correspondente ao molde móvel, que permite ver a localização dos extratores, masselotes e pernos moldantes da secção em questão. Os círculos a vermelho indicam-nos as zonas que serão alteradas.



Figura 7 – Secção do molde móvel

5.6 – Soluções

De seguida, serão apresentadas as soluções encontradas para cada uma das zonas indicadas anteriormente. A linha de apartação e os masselotes também serão sujeitos a alterações, de modo a garantir a resolução total do problema.

5.6.1 – Solução N°1

5.6.1.1 – Zona 1

Antes de ser realizada qualquer alteração foi efectuado um estudo do desenho 2D, para que se pudessem retirar as cotas necessárias. Na figura seguinte podemos observar a zona 1, e o corte que vai ser efectuado cuja designação é Q – Q.

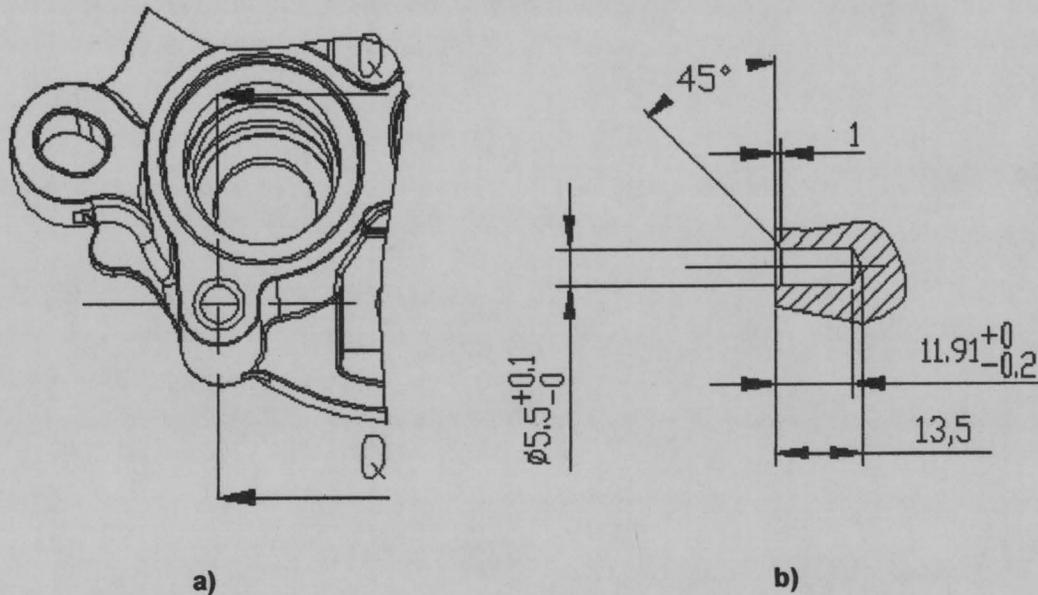


Figura 8 – (a) Corte Q – Q na Zona 1; (b) Secção Q – Q resultante

Após reflexão sobre as alterações possíveis e tendo em consideração a linha de apartação do molde para que não fosse criada uma zona frágil, optei por retirar material à parte inferior da espessura da peça de modo a que o volume total diminuísse implicando, no molde, um acréscimo de volume de aço na zona no lado móvel.

Em baixo, temos a zona antes da alteração, devidamente cotada.

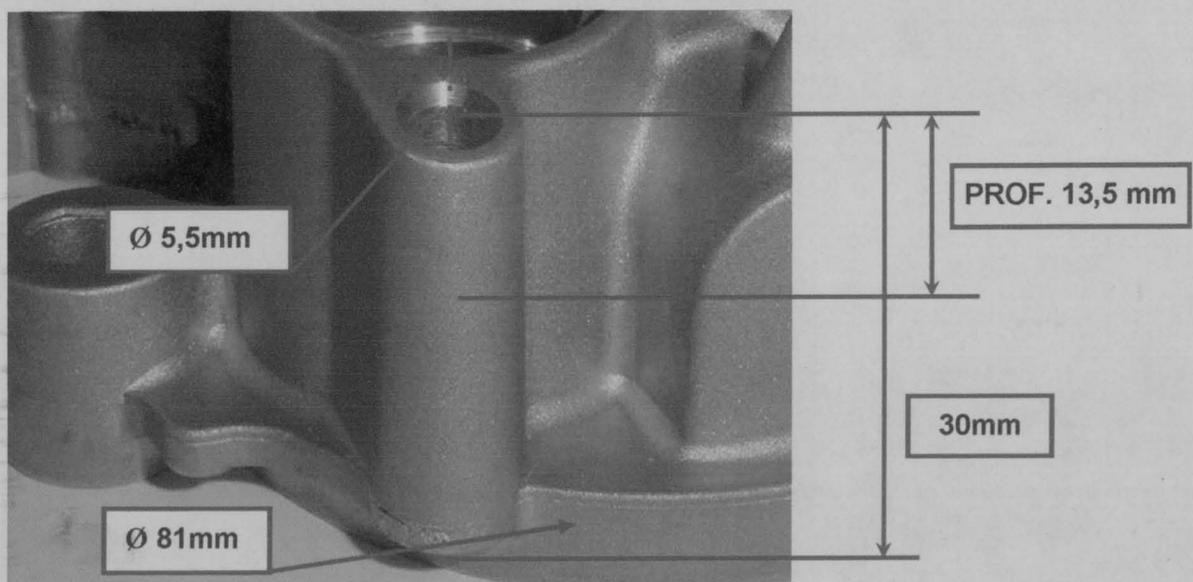


Figura 9 – Cotagem da Zona 1 antes da alteração

As cotas acima representadas indicam:

- Altura da espessura no centro (30mm);
- Profundidade do furo no centro (13,5mm);
- Diâmetro do furo (5,5mm);
- Diâmetro da zona funcional (81mm);

Tendo como base estas cotas, propus a geometria apresentada a seguir, na qual a linha vermelha indica a secção que vai ser retirada à peça no sentido da seta.



Figura 10 – Indicação do material retirado à peça

A altura da espessura que vai ser retirada da peça será de 14mm deixando 2,5mm de parede para além do furo, de modo a conferir a resistência necessária à zona. Na figura seguinte é mostrado em pormenor a alteração efectuada na parte A da zona 1.

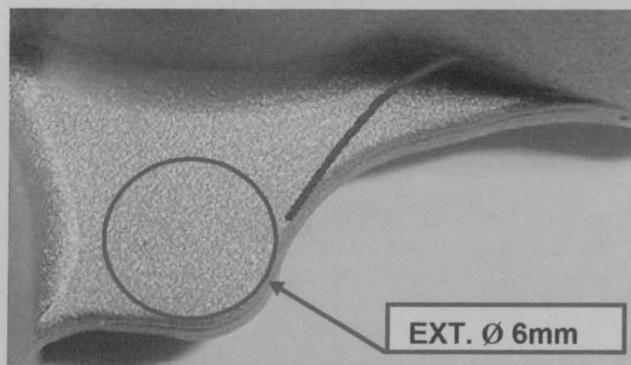
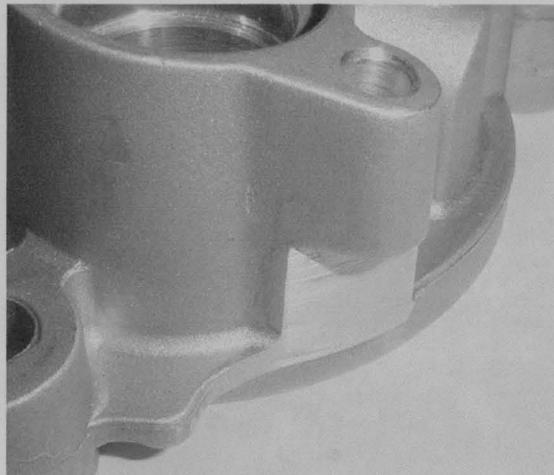
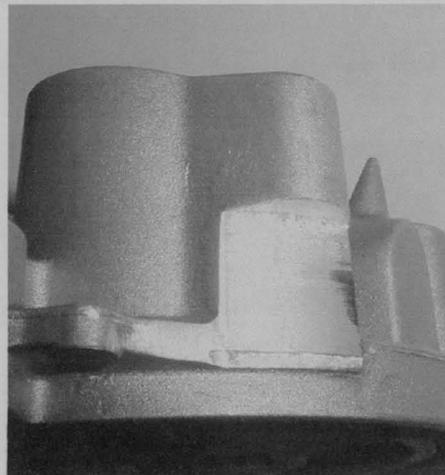


Figura 11 – Pormenor da parte A

Não foi possível alterar a parte A da zona 1 com maior profundidade, porque nesta nervura está localizado um extractor de diâmetro 6, (assinalado por o círculo a vermelho) que tem como função retirar a peça do perno moldante imediatamente à sua esquerda. O efeito final, da alteração, pode ser observado na figuras seguintes. Esta peça é um protótipo realizado por fresagem, para que o cliente tenha uma noção do efeito final das alterações, podendo assim visualizar fisicamente a alteração como complemento ao desenho.



a)



b)

Figura 12 – Protótipo da Peça com alteração da Zona 1

O passo seguinte foi modelar a alteração em 3D utilizando o programa Pro-Engineer. Para implementar a alteração no desenho 3D, foi necessário aprender a trabalhar com este “software”. Foi um processo moroso e um pouco complexo, por nunca ter trabalhado com o programa, e não haver grande disponibilidade da parte dos líderes de projecto, que se encontravam envolvidos em novos projectos.

A imagem seguinte permite-nos observar o 3D antes da alteração.

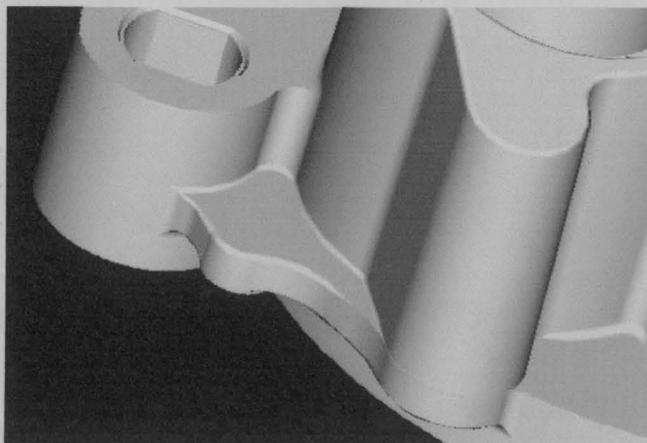


Figura 13 – 3D antes da Alteração na Zona 1

As alterações no 3D foram então implementadas com as cotas necessárias, de modo a que o fabricante de moldes possa ter as cotas exactas para a sua alteração. A saída dada é a da parede do furo, ou seja, 2 graus.

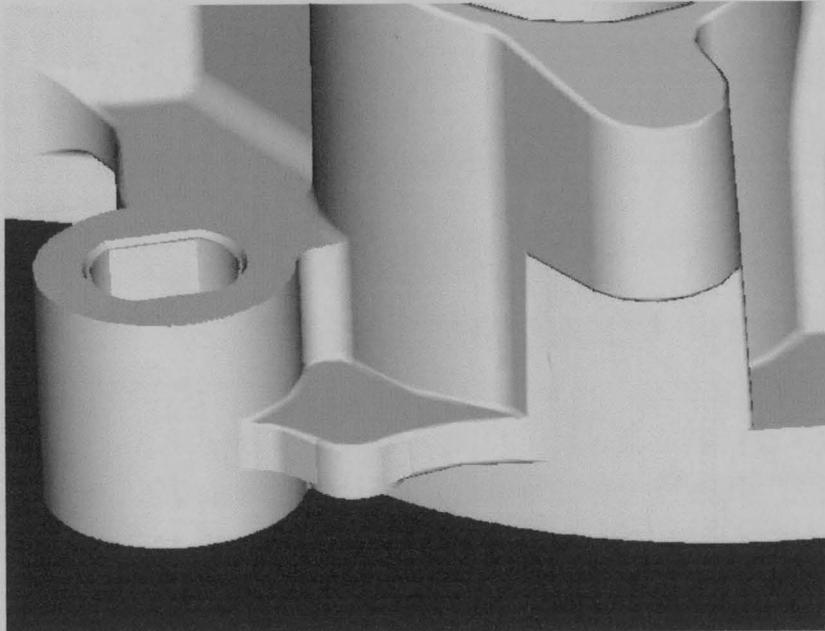


Figura 14 – 3D após alteração da Zona 1

É importante frisar que o masselote, apresentado na figura seguinte, não foi esquecido, ficando a alteração realizada neste, para o 5.6.1.3, por se enquadrar melhor no assunto aí referido.

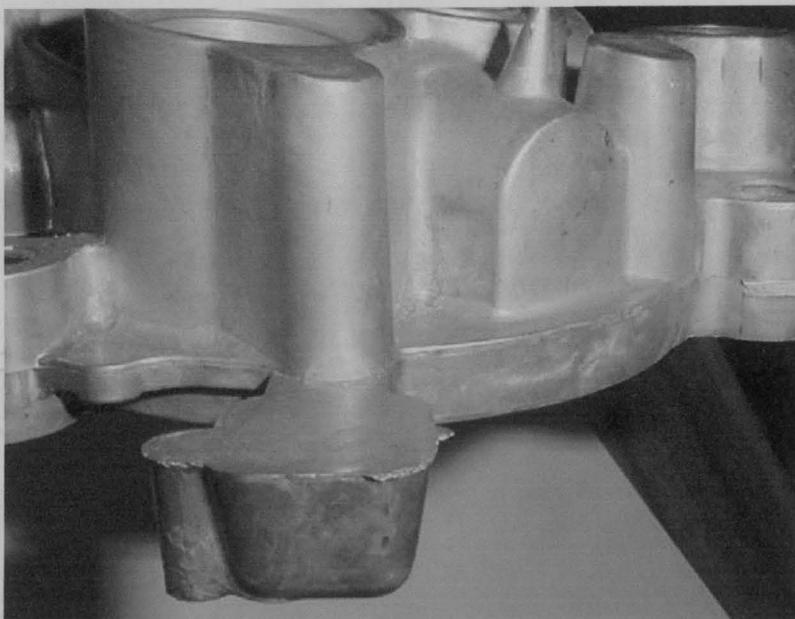


Figura 15 – Pormenor do Masselote da Zona 1

5.6.1.2 – Zona 2

Para esta solução considerou-se uma alteração que não modificasse muito a zona funcional da peça e conseguisse, no entanto, solucionar a porosidade em questão. Para início do estudo, foi realizado um corte no desenho 2D, da peça maquinada, para que fosse possível observar o furo na zona 2.

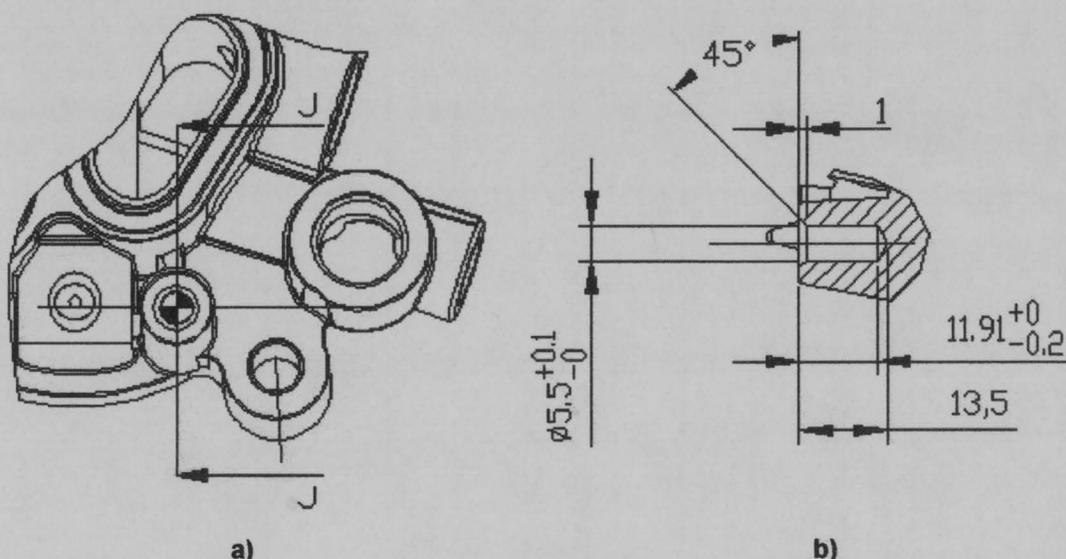


Figura 16 – (a) Corte J – J na Zona 2; (b) Secção J – J resultante

De seguida foi estudada a vista inferior da zona no 2D, à qual foi sobreposta a vista superior, de modo a que se pudesse elaborar uma zona de alívio de material na qual fosse garantida uma espessura nas paredes com o mínimo de 2,5mm.

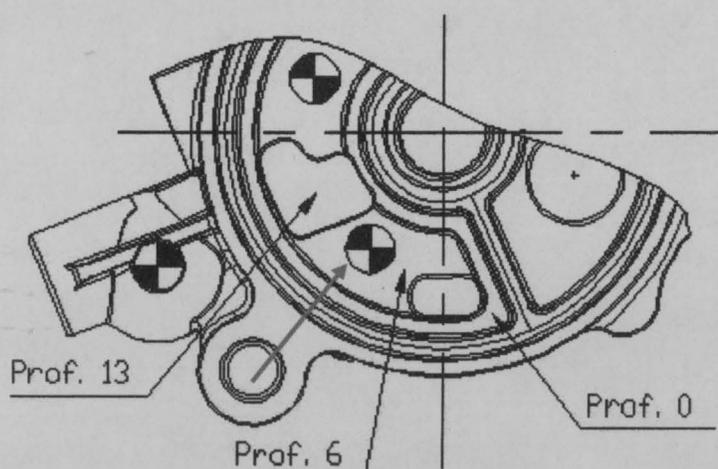


Figura 17 – Vista Inferior da Zona 2

Na figura 17 podemos observar a vista inferior da zona 2, antes de qualquer alteração. Podemos verificar a existência de um extractor de $\varnothing 8\text{mm}$ (assinalado pela seta) que tem como função desmoldar toda a zona adjacente. É, por isso, de extrema importância e deve ser levado em conta na alteração que será proposta. A superfície na qual é indicada a profundidade zero é a superfície de partida para todas as profundidades indicadas nos desenhos seguintes, relativamente á parte inferior da zona 2.

Foram efectuados cortes em várias peças para que se pudesse ter melhor noção da zona. Após a utilização de todos estes meios de visualização, que me proporcionaram uma excelente visão da zona, foi elaborada uma solução que não alterasse muito a zona funcional da peça. A solução alcançada foi a seguinte.

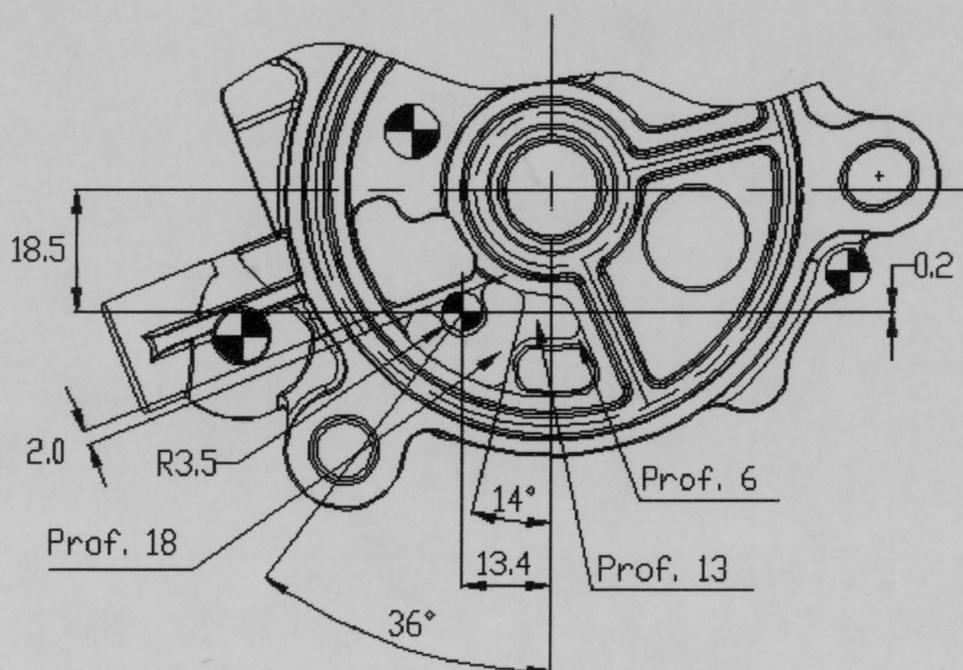


Figura 18 – Alteração da Zona 2 em 2D

No 2D apresentado podemos observar as alterações efectuadas em relação à figura 17 assim como a cotação dessas mesmas. É importante frisar que o extractor passa de 8mm de diâmetro para 6mm de modo a que se alivie o máximo de material na zona imediatamente abaixo da espessura, garantindo, ainda assim, uma correcta desmoldagem da peça na zona em questão. O ângulo de saída dado ás paredes é de 1 grau.

De seguida foi elaborado um protótipo, através de fresagem, para que se pudesse ter uma melhor noção do impacto da alteração na peça. Para tal teve de ser efectuado um desenho 2D que indicasse ao operador como deveria apertar a peça no tabuleiro da máquina, de modo a conseguir-se o efeito desejado na peça com o

mínimo de erro possível. Esse desenho não será aqui mostrado, pois inclui toda a peça, e a zona que se pode mostrar não nos esclarece a sua posição em relação à totalidade da peça.

Podemos ver, na imagem, a peça no tabuleiro da máquina, apertada de acordo com o estabelecido e preparada para iniciar a fresagem. A peça utilizada encontra-se maquinada, ou seja, pronta para ser entregue ao cliente.

Tive oportunidade de participar na elaboração do programa CNC em conjunto com o operador da máquina.

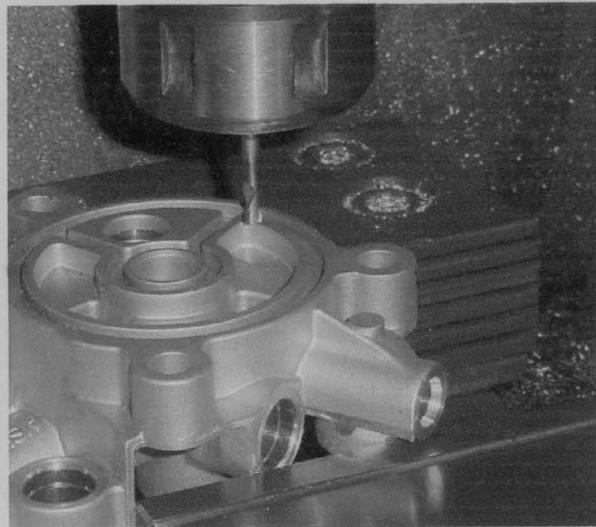


Figura 19 – Elaboração do Protótipo

Após a fresagem da peça e, como previsto, surgiu um rombo na geometria à profundidade de 18mm. As figuras seguintes permitem-nos observar a localização desse rombo quer no protótipo (no círculo), quer no 3D.

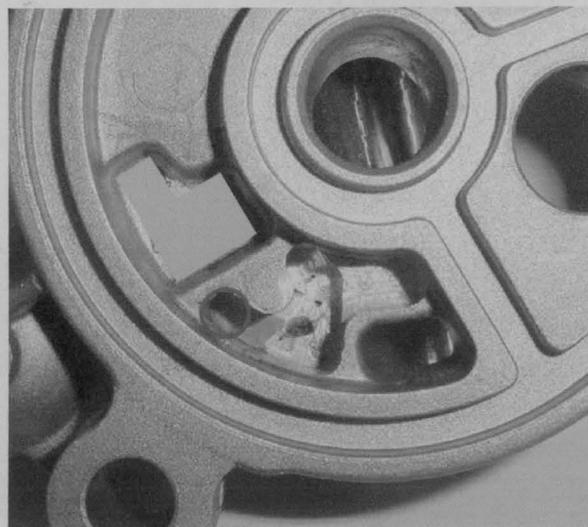


Figura 19(a) – Protótipo da solução

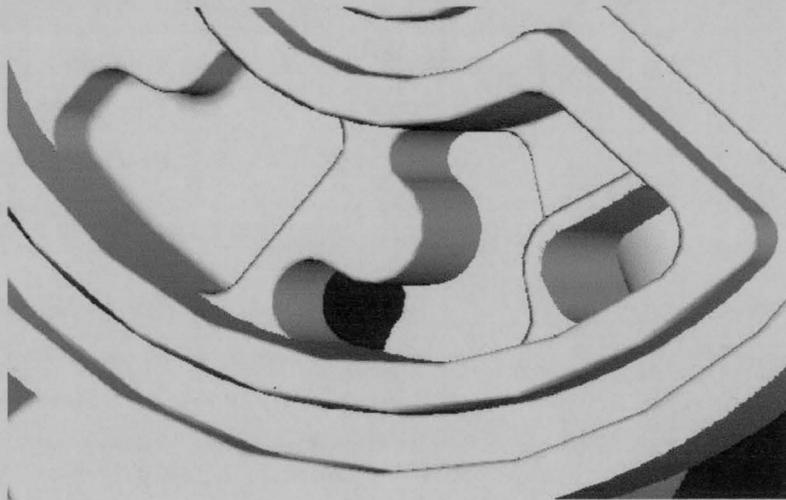


Figura 20 – 3D do rombo na parte inferior da peça

No protótipo, o rombo foi tapado, com plasticina, para que se pudesse obter o efeito visual desejado.

Este rombo também afectou a zona imediatamente à direita da espessura, sendo necessário realizar uma alteração na mesma.

A figura seguinte mostra-nos a vista superior da zona 2 e o rombo aí causado.

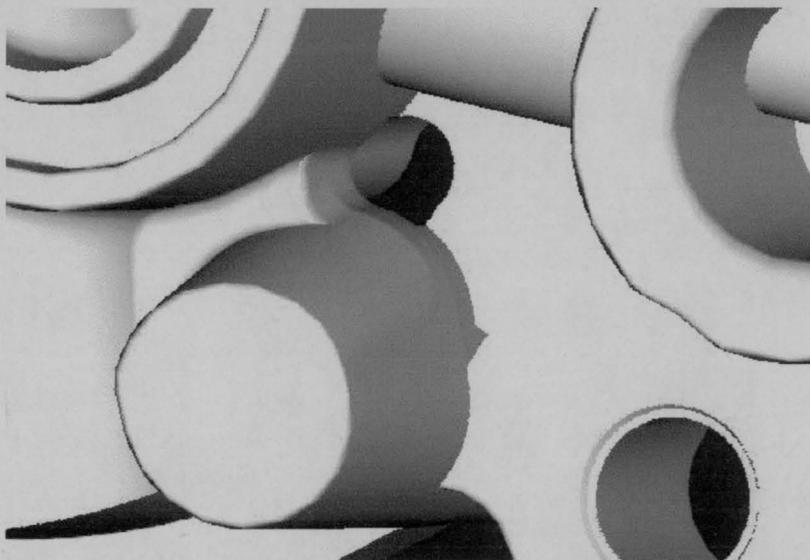


Figura 21 – 3D do rombo na parte superior da peça

Por haver necessidade de “encher” esta zona criando paredes com um mínimo de 2,5mm de espessura e, para garantir o enchimento da peça e a sua estanquicidade em funcionamento, deu-se início à elaboração de várias soluções nas quais fosse possível retirar o máximo de material após a reposição das paredes.

Na figura abaixo podemos observar a geometria da zona em questão, antes de qualquer alteração, para que a possamos comparar com as que serão exibidas. O

circulo a vermelho, indica a superfície a partir da qual serão referenciadas todas as profundidades para a parte superior da zona 2

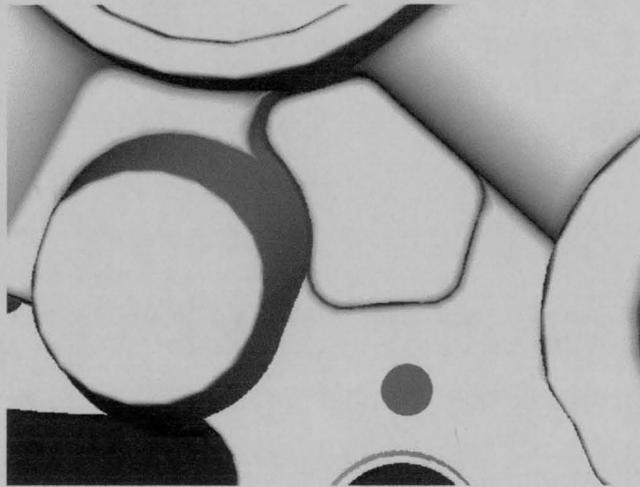


Figura 22 – 3D da zona sem alteração

De seguida serão mostradas algumas das soluções encontradas para este rombo. Estas soluções foram modeladas em 2D e posteriormente em 3D. Visto não serem as soluções finais, apenas mostrarei os 3D para uma melhor visualização.

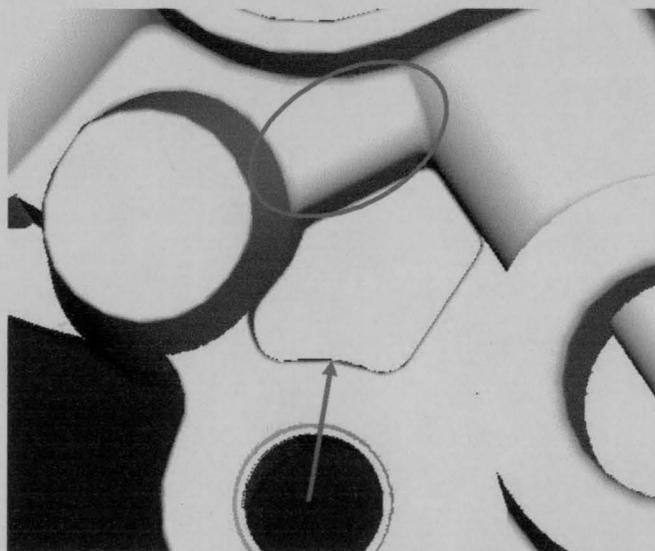


Figura 23 – Primeira solução Proposta

Nesta primeira solução, optou-se por criar uma parede à altura da anterior, que se une com a parede tubular lateral (conforme indica o círculo a vermelho), sendo criado, nessa parede, um raio de 4mm. A área do rasgo foi alargada junto ao furo, perpendicular à superfície, até ao seu raio exterior, de modo a garantir que esta zona de aperto não se tornasse frágil (alteração assinalada pela seta). A profundidade deste rasgo é de 6mm.

Após terem sido efectuados alguns cortes na peça e no desenho 2D, (na zona indicada pela seta), foi proposta, com base na anterior, uma segunda alteração. Tem como diferença um pequeno raio, criado para retirar mais material, continuando a ser possível garantir a espessura da parede. A figura seguinte permite-nos observar a alteração.

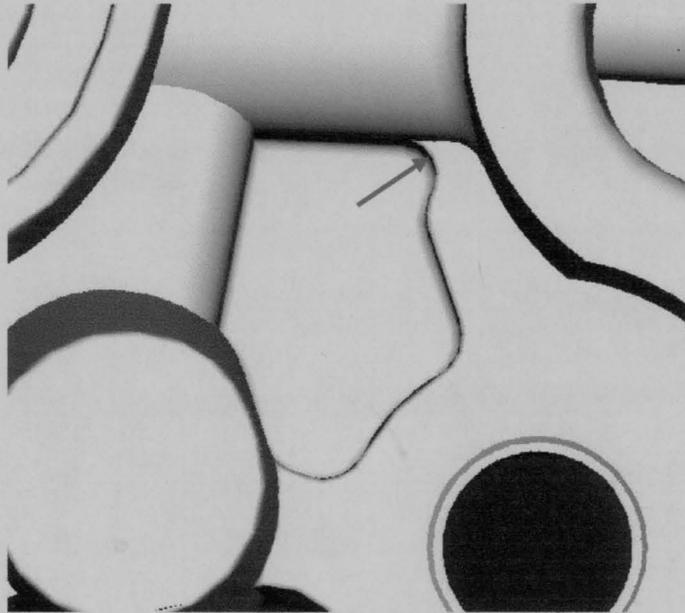


Figura 24 – Segunda solução proposta

Embora a zona parecesse não ser passível de mais alterações, resolvi pormenorizar ainda mais o estudo de todas as espessuras das paredes circundantes assim como da profundidade possível para a zona.

As figuras seguintes representam um dos cortes efectuados na peça.

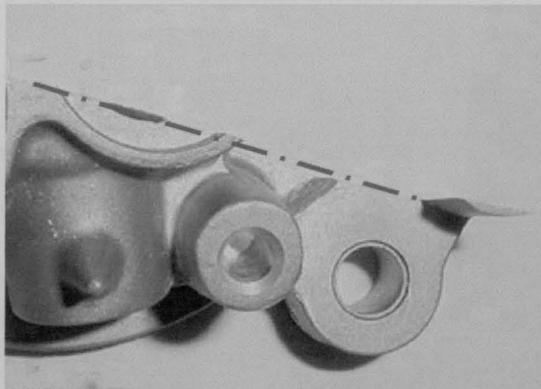


Figura 25 – Secção cortada da peça

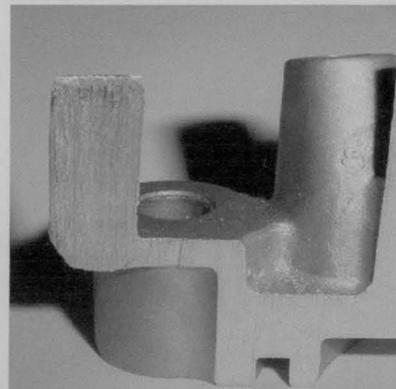


Figura 26 – Vista da secção cortada

Observando a secção cortada da peça (figura 26), apercebi-me que era possível aumentar a profundidade da zona. Para que pudesse efectuar esse aumento, tive que sacrificar a área que é retirada para, no final, ganhar em volume. A profundidade passou de 6mm para 10,5mm. De seguida podemos observar o 2D elaborado para esta alteração.

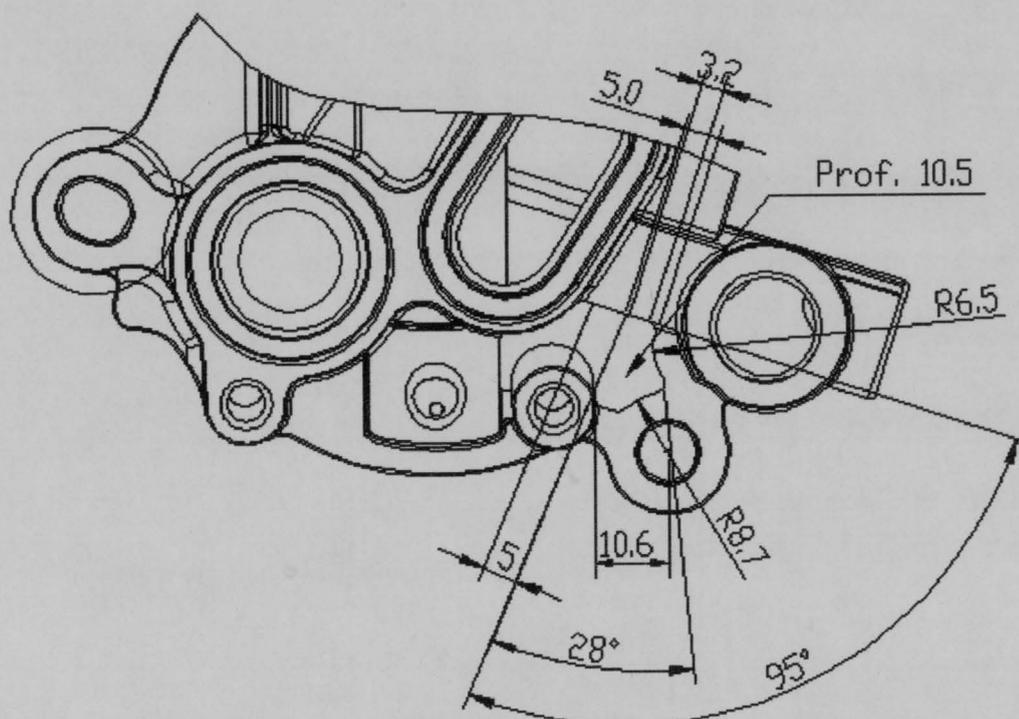


Figura 27 – Solução 2D do rombo

E agora, a modelação da alteração em 3D.

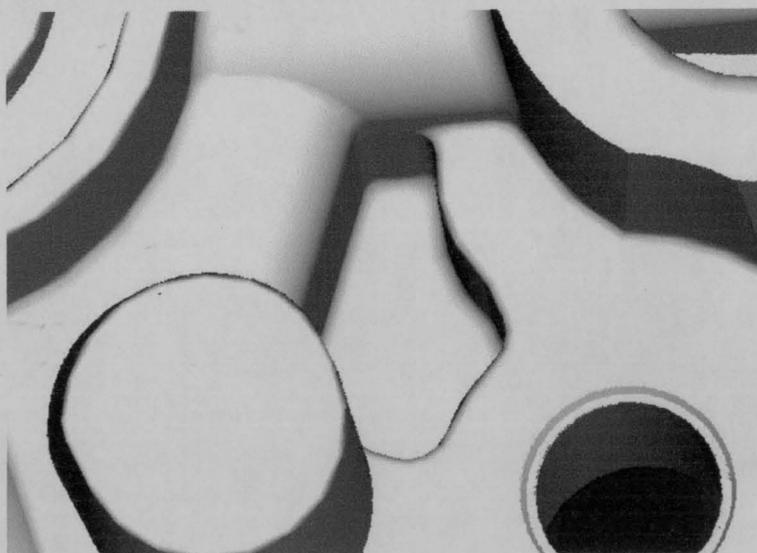


Figura 28 – 3D da solução final

Foi dado um ângulo de saída de um grau. Esta alteração foi fresada, numa peça maquinada, com a alteração na zona 2 já efectuada, de modo a podermos ter uma noção aproximada da realidade. Este protótipo foi então retocado de maneira a aproximar o mais possível a solução ao desenho.

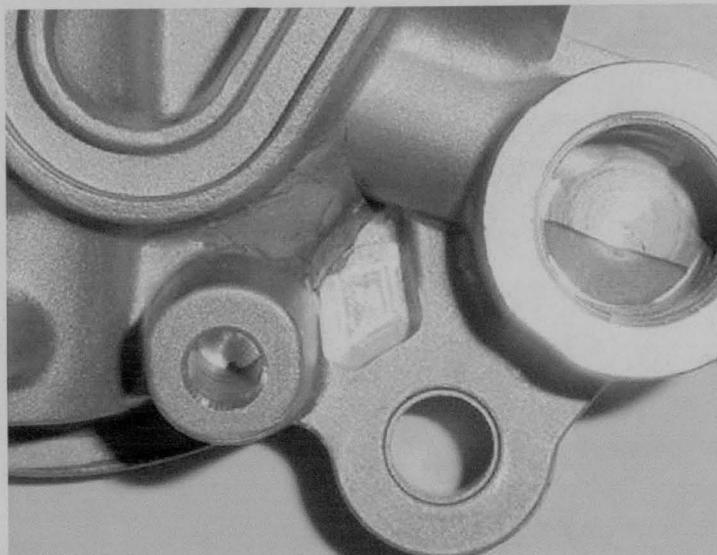


Figura 29 – Protótipo da alteração

5.6.1.3 – Alteração da Linha de Apartação

Devido às alterações que a zona 1 sofreu, fui obrigado a alterar a linha de apartação. Para além dessa alteração, propus também uma alteração da linha de apartação na zona 2, de modo a proporcionar uma melhor ventilação e limpeza da mesma.

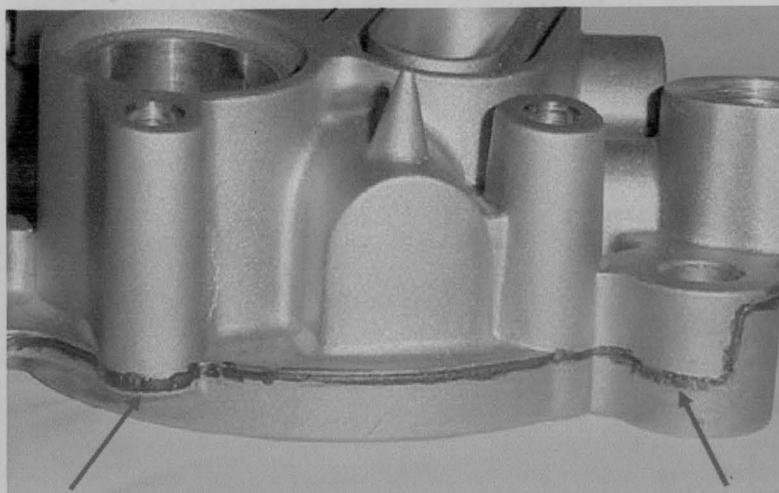


Figura 30 – Linha de apartação antes da alteração

Nas figuras que se seguem, linha a vermelho indica-nos a linha de separação e, as setas indicam-nos a localização dos masselotes. Na zona 1, a linha de separação vai acompanhar a alteração aí realizada, passando o masselote para cima.

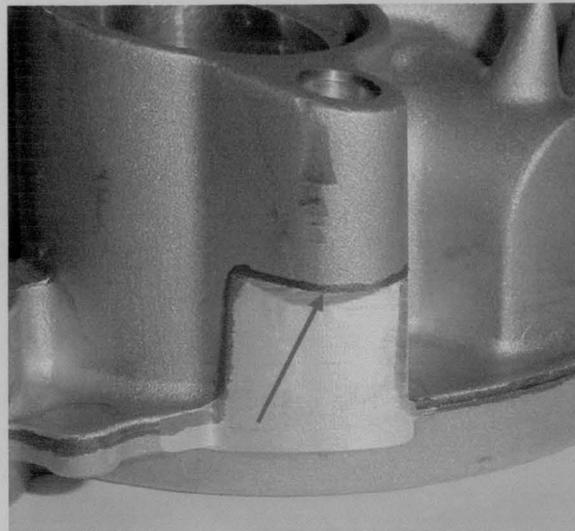


Figura 31 – Alteração da linha de separação na zona 1

Na zona 2, a alteração efectuada na linha de separação é mostrada em baixo.

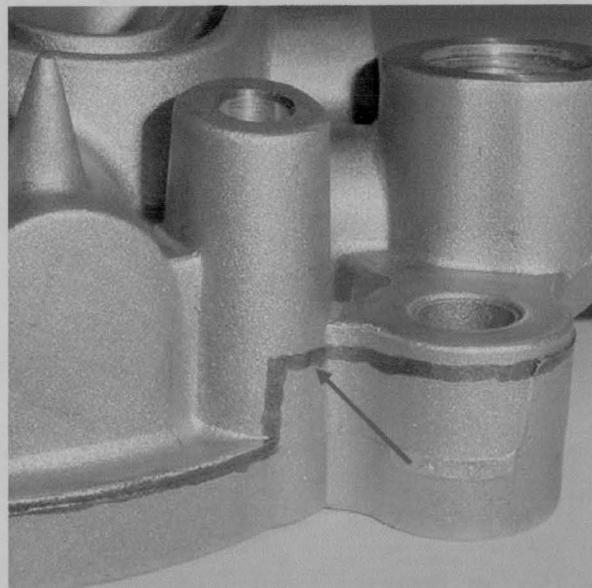


Figura 32 – Alteração da linha de separação na zona 2

Podemos observar a nova localização do masselote e da linha de separação.

O efeito final e total das alterações realizadas na linha de separação, pode ser observado na figura seguinte.

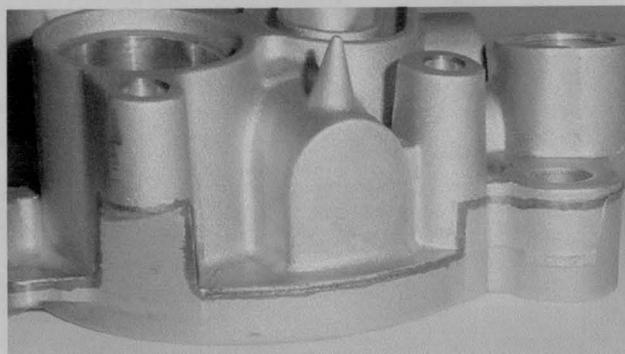


Figura 33 – Nova linha de apartação

5.6.2 – Solução N°2

5.6.2.1 – Zona 1

Nesta zona optou-se por realizar uma alteração idêntica à da solução N°1, pois nesta zona não há possibilidade de efectuar uma alteração que garanta do mesmo modo, a eliminação da porosidade.

5.6.2.2 – Zona 2

Nesta solução optou-se por retirar muito mais material na zona funcional, não tendo tanto em conta a função da zona. Assim, garantiu-se um maior alívio de material e, com maior certeza, a completa eliminação da porosidade.

Os passos seguidos para efectuar esta alteração são idênticos aos da solução anterior, isto é, foram estudados os desenhos 2D e 3D e efectuados cortes na peça.

Um dos cortes efectuados na peça, que me permitiu propor esta solução é mostrado em baixo.

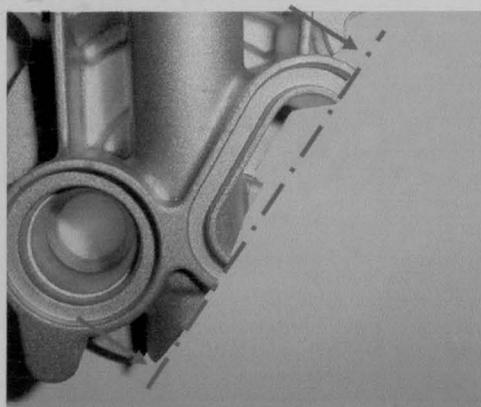


Figura 34 – Indicação do corte

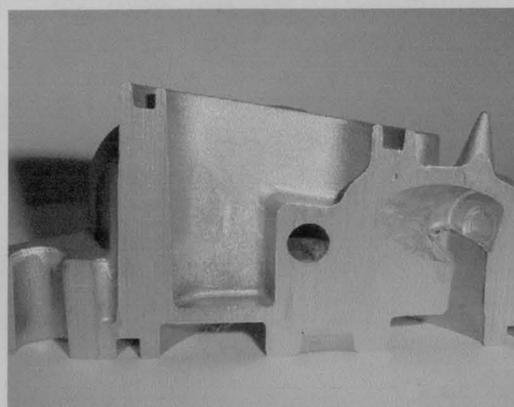


Figura 35 – Secção obtida após corte

Foi então proposta uma solução, para a parte inferior da zona 2 conforme a figura abaixo.

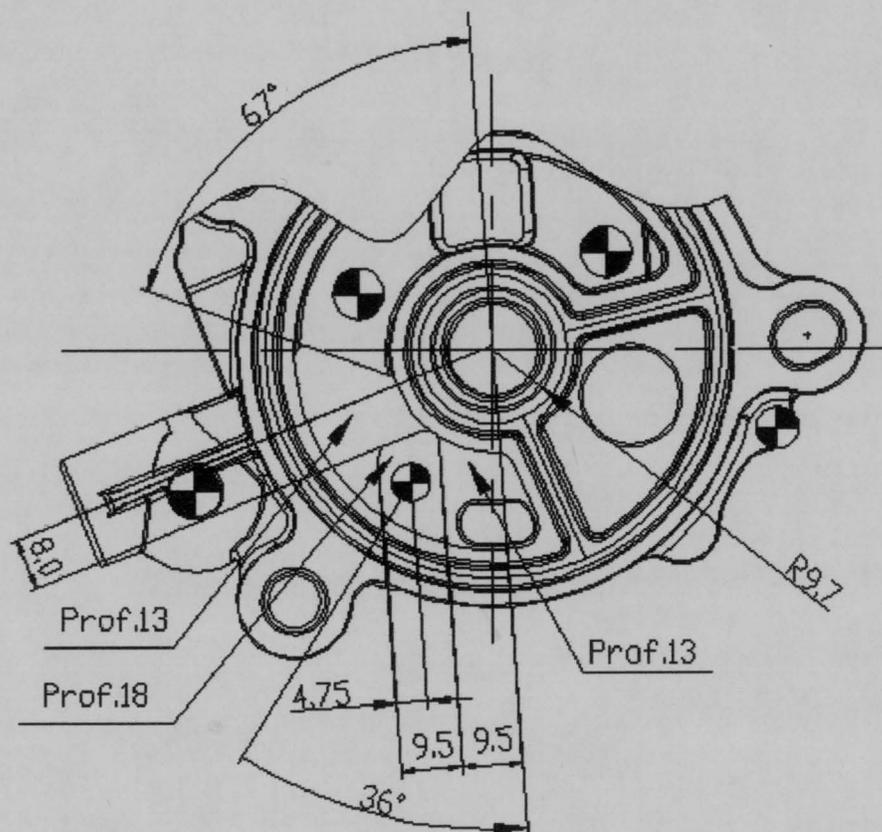


Figura 36 – Alteração da zona 2 a 2D

Em comparação com a figura 17 (peça original), podemos verificar que o extractor passa de 8mm para 6mm garantindo, do mesmo modo o desmoldar da peça. Para que possamos ter uma melhor noção da alteração, podemos observar o protótipo realizado por fresagem. Foi dado um ângulo de saída de 1,5° graus.

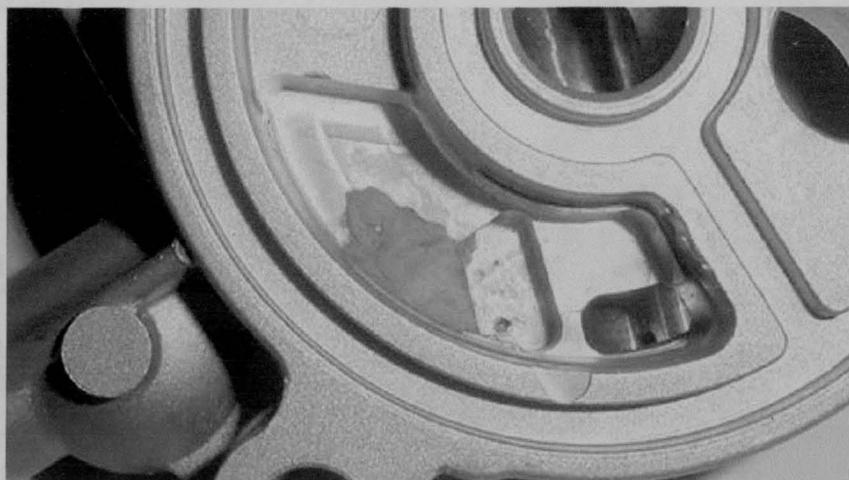


Figura 37 – Protótipo da solução

O protótipo foi retocado com plasticina para cobrir o rombo que foi aberto ao se adaptar esta solução. No 3D, em baixo, podemos observar o rombo (assinalado pelo círculo) na parte inferior da zona 2.



Figura 38 – 3D do rombo na parte inferior da peça

Tal como na solução nº1, também a parte superior da zona 2 foi afectada pelo rombo, como nos mostra a imagem abaixo.

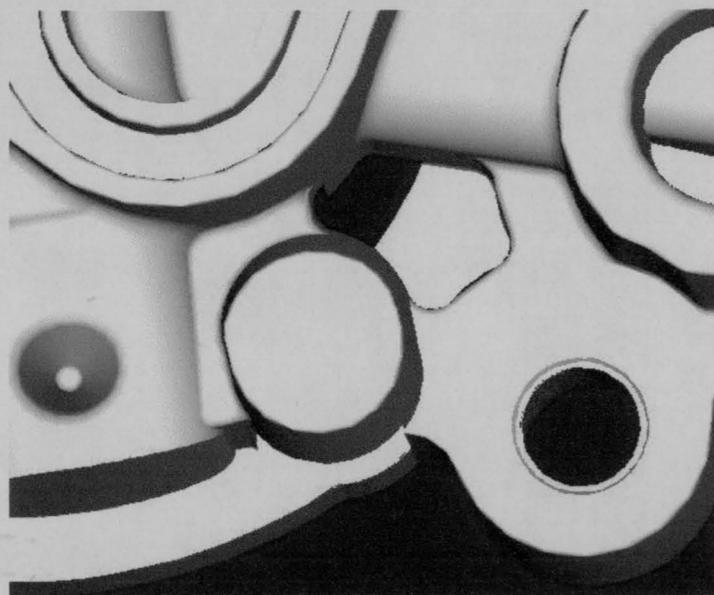


Figura 39 – 3D do rombo na parte superior da peça

De modo a “encher” o rombo e garantir a espessura das paredes, foi escolhida, para esta zona, uma solução idêntica à da solução nº1. A imagem seguinte relembra-nos essa mesma alteração.

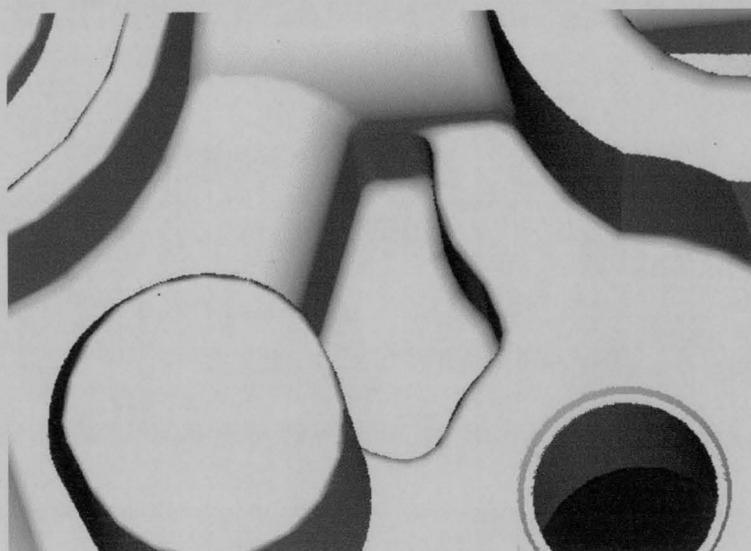


Figura 40 – 3D da alteração da parte superior da zona 2

Para confirmar que a alteração continua correcta, pois foi retirado bastante mais material à profundidade de 18mm, criei diversos planos de corte no 3D, que me permitiram retirar as secções a 2D e garantir a espessura das paredes.

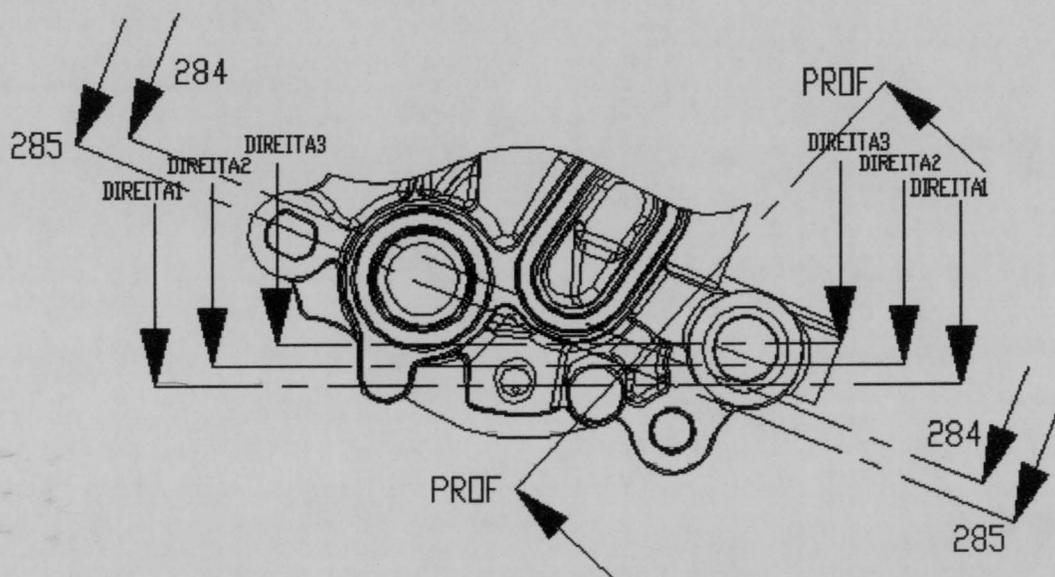


Figura 41 – Cortes efectuados

A realização deste tipo de cortes na peça foi possível graças ao PRO-E. Esta é mais uma das potentes ferramentas que podemos utilizar para obter informações pormenorizadas sobre as peças em estudo. Esta ferramenta fez parte das aprendidas por mim ao longo do estágio.

São mostrados todos os cortes efectuados, com os nomes correspondentes aos planos de corte.

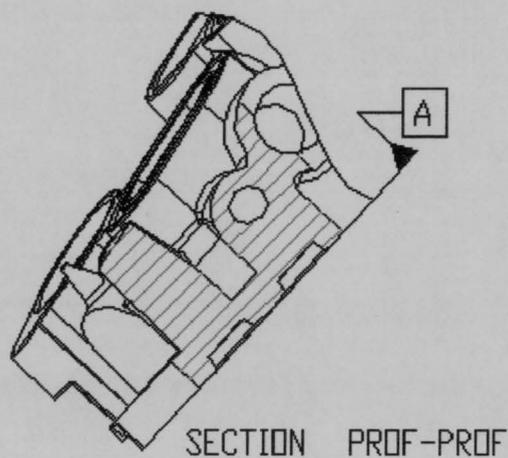


Figura 42 – Secção PROF-PROF

Em cima, podemos certificar-nos que a parede entre o exterior da peça e a zona funcional é garantida, tal com em todos os outros cortes mostrados abaixo.



Figura 43 – Secções obtidas dos cortes DIREITA-DIREITA

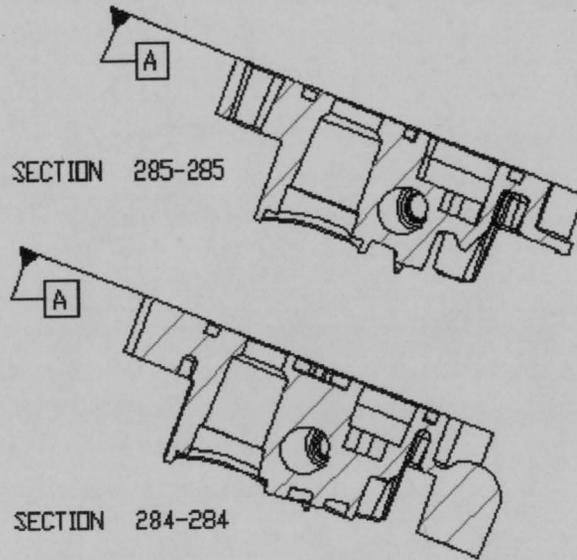


Figura 44 – Secções 284-284 e 285-285

O resultado final, a 3D, na parte inferior da zona após a alteração mostrada acima pode ser observada de seguida.

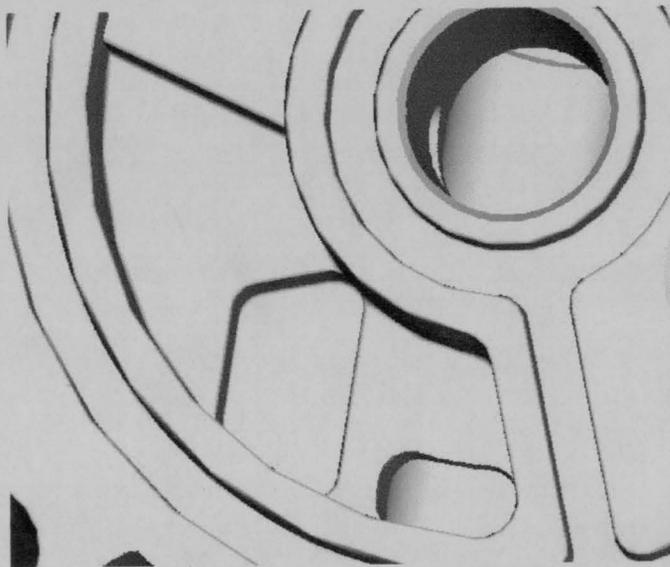


Figura 45 – Solução final da zona 2

5.6.2.3 – Alteração da Linha de Apartação

A linha de apartação desta solução vai sofrer as mesmas alterações que sofreu na solução nº1, pois a alteração na zona 1 é idêntica e, na zona 2 não se realizaram alterações que afectem a linha de apartação.

5.6.3 – Solução Nº3

Esta solução visa uma alteração bastante grande no molde, porque implica a utilização de uma gaveta. No 2D seguinte, podemos verificar que tipo de alteração será imposta, pela gaveta, às zonas 1 e 2 da peça.

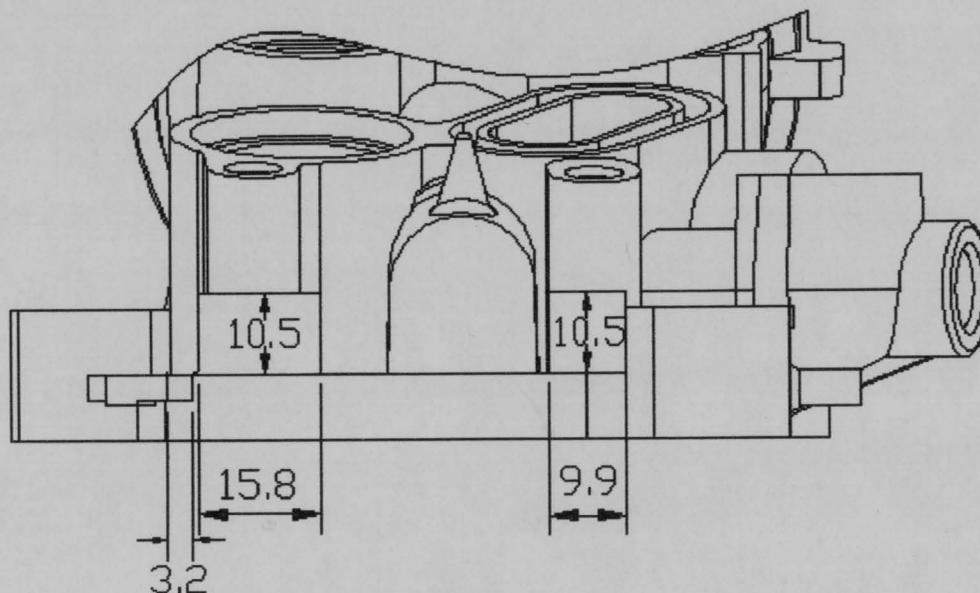


Figura 46 – 2D da alteração proposta

Na zona 1, a gaveta irá até ao diâmetro exterior do furo anterior à espessura em questão. Nos planos perpendiculares ao de moldagem, será dado um ângulo de saída de um grau. Como é óbvio, o masselote desta zona desaparecerá.

Através do 3D podemos ter uma melhor percepção da alteração proposta

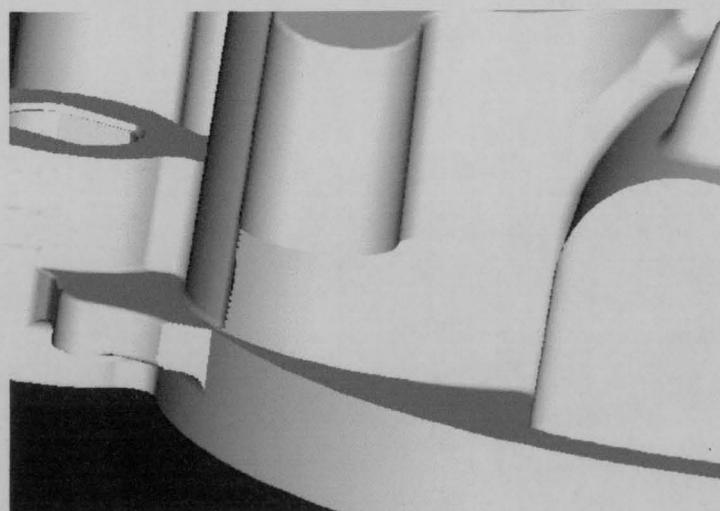


Figura 47 – Pormenor da alteração na zona 1

Na zona 2, não se retirou mais material (na zona indicada pela seta) para que o aço á sua direita não ficasse frágil, isto é, susceptível ao desgaste e ao perigo de quebrar com o encosto da gaveta. A profundidade desta alteração está relacionada com o diâmetro de 68mm desde o centro do furo na parte inferior da peça, garantindo uma parede com 3mm de espessura entre a gaveta e a zona funcional (círculo a vermelho). Nos planos perpendiculares ao de moldagem será dado um ângulo de saída de um grau.

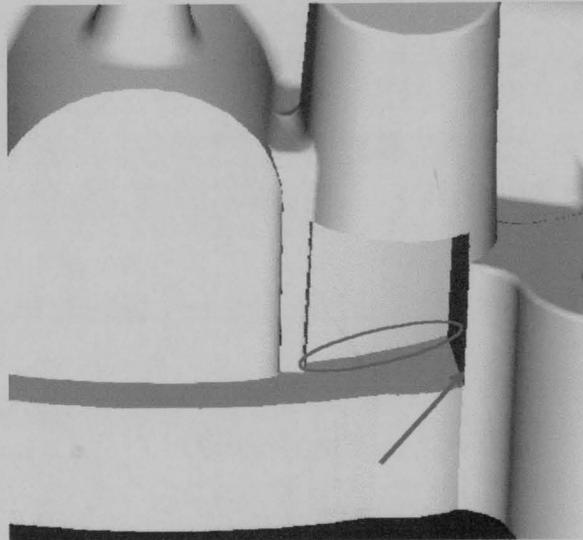


Figura 48 - Pormenor da alteração na zona 2

A utilização de uma gaveta irá provocar uma alteração na posição do masselote que se encontra no furo à direita, assim como na linha de apartação que descerá ao nível do masselote mais cedo. A sua nova localização é mostrada na imagem abaixo.

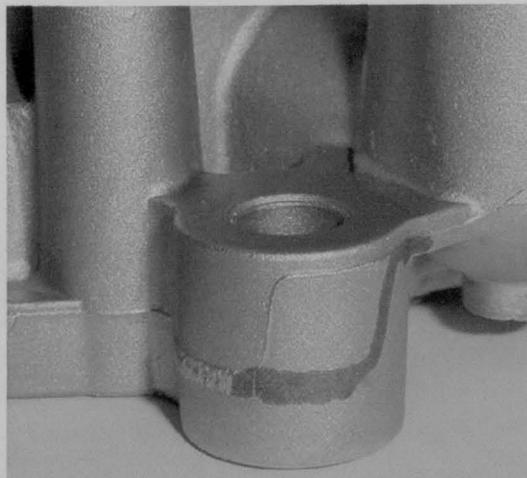


Figura 49 - Nova localização do masselote

Na imagem seguinte podemos observar a área que será moldada pela gaveta (contorno a vermelho).

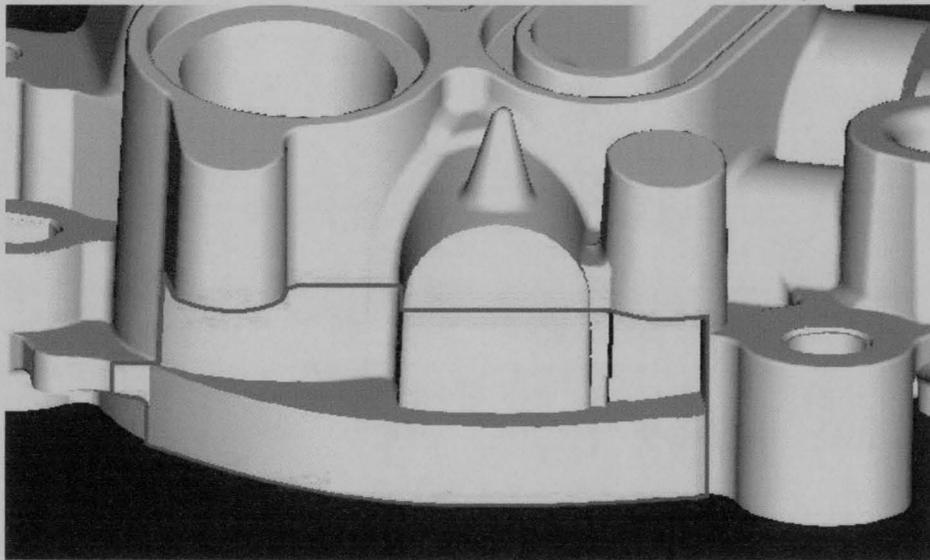


Figura 50 – Contorno da gaveta

Como complemento desta solução, a alteração proposta na solução nº2 para a parte inferior da zona 2 (5.6.2.2) seria aplicada nesta solução, garantindo-se uma parede com 3mm de espessura

5.7 – Critérios de Selecção da Solução para envio ao Cliente

Após a elaboração destas três soluções, foi realizada uma reunião para escolha de qual das soluções é a mais viável para ser enviada ao cliente. Os intervenientes nesta reunião faziam parte das seguintes Secções:

- Departamento Técnico Comercial (Líder de Projecto).
- Produção (Fundição e acabamentos).
- Engenharia do Processo de Fundição (controlo de Processo).
- Manutenção de Ferramentas.
- Qualidade.

Os critérios que pesaram na selecção da solução são os mostrados no diagrama seguinte.



Diagrama 1 – Critérios de selecção

Foram analisados os critérios acima mencionados para cada uma das soluções.

5.7.1 – Cliente

Como a finalidade desta reunião é seleccionar uma solução para propor ao Cliente, é importante que o ponto de vista do Cliente seja tido em conta, ou seja, que as peças estejam dentro dos parâmetros de qualidade e ao menor preço possível. Tomando em consideração os interesses do Cliente, a solução que mais se adequou foi a nº3, por retirar maior quantidade de material e portanto, tornar a peça mais barata. Este factor do preço unitário deve ser considerado pois, ao longo da produção serão poupados, centenas de milhares de Euros.

Das restantes soluções, a nº2 também retira bastante material (aproximadamente 13g), sendo também um factor a ter em conta.

5.7.2 – Custos

Em termos de custos de implementação, a solução nº3 é, de longe, a mais cara, por ser necessário adequar toda a estrutura do molde a esta solução.

Tanto a solução nº1 como a nº2, mais baratas, estão dentro dos mesmos valores por serem bastante semelhantes, não podendo o critério “custos” estabelecer uma grande distinção entre elas.

5.7.3 – Tempo de Implementação

Este critério refere-se ao tempo no qual seria possível implementar a solução escolhida. Como é natural, a solução nº3 é de longe a que nos levaria mais tempo a implementar devido à sua complexidade. Essa solução implica mais tempo a elaborar e mais tempo a ensaiar.

As outras soluções rondarão o mesmo tempo de implementação.

5.7.4 – Execução Técnica

Este parâmetro está directamente associado ao anterior, pois quanto mais complicada for a execução técnica maior será o tempo de implementação.

Mais uma vez, a solução nº3 volta a ser a mais complexa. A sua concepção implicaria mais tempo para o projecto, para conceber a gaveta, e a utilização de muito mais recursos para a sua implementação. Para além destes factores, a alteração do cortante, de modo a limpar as rebarbas deixadas pela gaveta ao longo do contorno da mesma, seria muito complicada, porque essas rebarbas tendem a “colar-se” à peça aquando da sua extracção.

5.7.5 – Manutenção

No que diz respeito a este critério, a principal palavra foi do Representante da Manutenção de Ferramentas que, desde logo referiu que, para o molde em questão, a implementação da solução nº3 traria dificuldades na acessibilidade quando este se encontrasse montado, visto já existirem duas outras gavetas em cada cavidade. Para, além disso, lembrou que a utilização de gavetas, sem grande área de apoio, diminui o tempo de produção contínua, por ser necessário haver maior manutenção dessas mesmas.

Em relação às duas outras soluções, e em termos de manutenção, seriam idênticas.

5.7.6 – Solução enviada ao Cliente

Tendo como base tudo o que foi exposto atrás, a questão punha-se em termos da solução nº1 ou da nº2, visto a terceira estar excluída.

Como a finalidade destas alterações é a eliminação da porosidade, das duas soluções restantes, a que retirava maior quantidade de material e, portanto, garantia com maior certeza a eliminação da porosidade, era a solução nº2. Esta solução também tem a vantagem de ser mais económica para o cliente, em termos de matéria-bruta utilizada por peça.

Perante o exposto, foi resolvido enviar ao Cliente a solução nº2.

5.8 – Solução Final

O Cliente, após ter recebido a proposta da Sonafi (solução nº2), analisou-a ao longo de duas semanas e meia, período após o qual enviou um desenho 3D da peça com a solução final por eles aprovada. Nessa solução, a proposta feita para a zona 1 e para a linha de apartação foram aceites na íntegra. Não aconteceu o mesmo com a proposta para a zona 2 que apenas foi aceite parcialmente: a alteração para a parte inferior da zona foi aceite mas, para a parte superior, foram feitas algumas alterações na geometria. Essas alterações podem ser observadas na imagem seguinte.

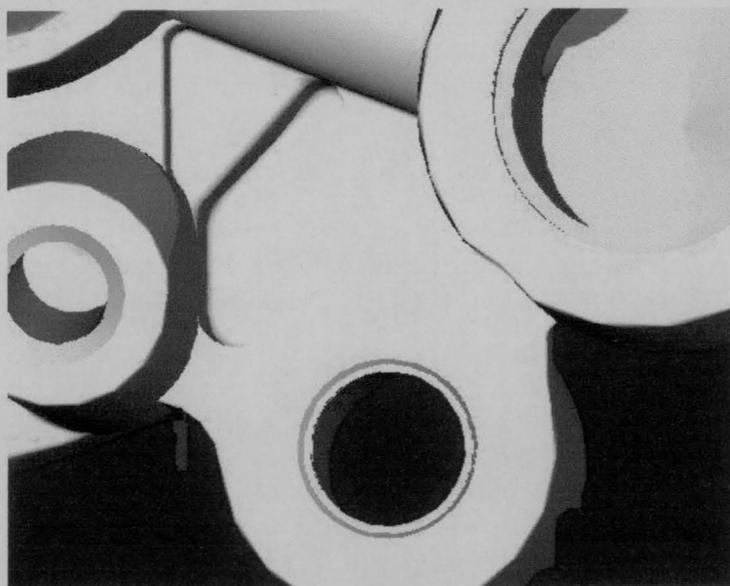


Figura 51 – 3D enviado pelo cliente

O 2D seguinte dá-nos as cotas exactas da alteração efectuada pelo Cliente.

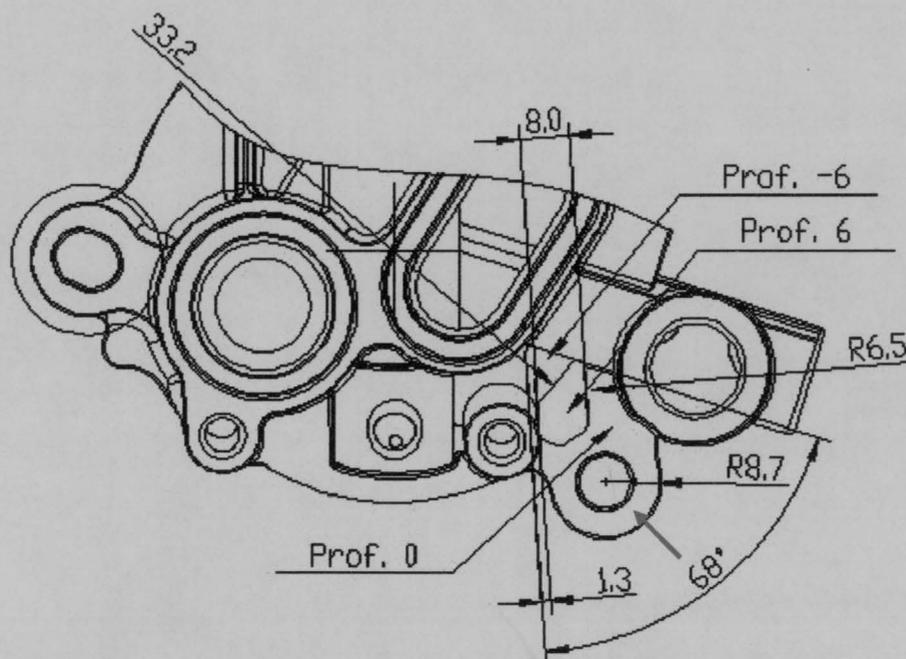


Figura 52 – 2D da alteração do cliente

A profundidade definida como (-)6mm surge porque tem o sentido ascendente ao plano considerado como zero.

O cliente terá alterado esta zona por reasar fragilizar a zona do furo (indicada pela seta) porque, como já foi referido, esta peça é um componente de um motor sofrendo vibrações por ele provocadas.

Daqui se pode deprender a importância da necessidade do Cliente aprovar todas as alterações. É ele que conhece em pormenor o tipo de solicitações que cada secção da peça sofre.

5.9 – Custeamento da Alteração

O Cliente recusou-se a pagar a alteração, no primeiro molde, aludindo para tal, que o erro foi da responsabilidade da SONAFI. Devido a este facto, foi decidido implementar apenas a solução da zona 2, no primeiro molde, por ser a mais crítica das duas. Como esta alteração não modifica a linha de apartação, não será necessário alterar o cortante.

Esta alteração, no molde, será realizada em Agosto, porque, a Empresa se encontra encerrada para férias, não causando transtorno na produção programada. O valor desta alteração é de **2500 Euros**, suportados integralmente pela SONAFI.

A alteração será realizada na totalidade no segundo molde. Neste caso será necessário modificar o cortante por se alterar a linha de apartação.

O custo programado para a alteração total é:

- Molde: **6500 Euros**
- Cortante: **1000 Euros**

Estes valores incluem as alterações dos desenhos.

6 – Conclusão

Em relação ao Projecto de Fim de Curso, faltou realizar uma simulação de enchimento, com a peça 3D, para a solução por nós proposta ao cliente. Essa serviria para comprovar que os pontos quentes seriam eliminados das zonas e a porosidade desapareceria. O facto de não se realizar a simulação, foi devido ao elevado valor que teria que ser despendido pela SONAFI (aproximadamente 1750 Euros). Nestes tempos de crise, as empresas são obrigadas a fazer contenção de custos e, por esta solução proporcionar de certeza o efeito desejado decidiu-se não efectuar a simulação.

Foi muito gratificante poder trabalhar num Projecto que me proporcionou um contacto directo com a Indústria e me fez aplicar muitos dos conceitos apreendidos ao longo do curso.

Durante estes quatro meses de estágio, que me proporcionaram grande aprendizagem, tive oportunidade de ampliar os meus conhecimentos técnicos muito além do que pensava possível. Posso afirmar que a SONAFI é uma escola em termos de fundição injectada, pois as peças aqui produzidas têm um grau de complexidade elevado, proporcionando uma grande exigência ao nível de conhecimentos técnicos.

Não posso deixar de mencionar o excelente ambiente de trabalho que encontrei no Departamento Técnico Comercial, no qual, o trabalho de equipa prepondera, tomando-o extremamente dinâmico. Posso afirmá-lo porque trabalhei ao longo de todo curso, em algumas Empresas, e nunca contactei com tão bom ambiente como o que pude encontrar aqui. A chave para o sucesso de uma Empresa, não está apenas na sapiência dos seus colaboradores, mas também na capacidade de se relacionarem entre si dinamicamente.

A SONAFI e o trabalho que nela desenvolvi farão parte, sem duvida, das experiências e referências importantes para a minha futura carreira.

Bibliografia

William G. Walkington, "Causes and Solutions – Die Casting Defects", NADCA – North American Die Casting Association.

William G. Walkington, "Troubleshooting Guide – Die Casting Defects", NADCA – North American Die Casting Association.

"Análise de Modo de Efeito de Falha Potencial – FMEA", 2ª Edição Americana, Fevereiro de 1995

"Caderno de Encargos de Moldes", SONAFI – Sociedade Nacional de Fundição Injectada.

"Caderno de Encargos de Cortantes", SONAFI – Sociedade Nacional de Fundição Injectada.

"Manual de Procedimentos de Qualidade", SONAFI – Sociedade Nacional de Fundição Injectada.



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000090013


prodep III

Mais Educação



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu

Nome: João Miguel Correia Pedro

Curso: Eng. Mecânica

Datas: 2/24/2003 a 5/23/2003

Tema: Integração no desenvolvimento e processo de produção de peças de profundição injectada

Empresa: SONAFI, S.A.

Concurso: 306/012-03 – PRODEPII – Medida 3/Ação 3.2 - Estágios