Universidade do Porto
FEUP Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

KÜPPER & SCHMIDT
COMPONENTES PARA AUTOMÓVEIS, LDA.

Projecto de Componente Automóvel em Fundição Injectada de Alumínio

por

Jorge Abílio Outeiro Martins – jorgeaomartins@hotmail.com
Licenciatura em Engenharia Mecânica
Opção de Tecnologias de Moldação por Injecção

Orientado por:
Eng.º João Meireles – Küpper & Schmidt, Componentes para Automóveis, Lda.

Supervisionado por:
Eng.º Luís Filipe Villas-Boas – DEMEGI – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Projecto de Fim de Curso **Julho.2003**

621(047.3)
LEM 2002/MARj

UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu
prodep III

621(047.3)/LEM 2002/MARq.
Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Biblioteca
Nº 88408
CDU 621.74(047.3)
Data ___/___/20

Agradecimentos

Ao Eng.º Luís Filipe Villas-Boas agradeço a importante contribuição dada de modo a que este trabalho fosse viável.

Ao Eng.º João Meireles, director do Departamento de Engenharia do Produto da empresa Küpper & Schmidt, desejo exprimir o meu reconhecimento e gratidão pela indispensável orientação, incentivo e dedicação sempre demonstrados.

A todos os membros do Departamento de Engenharia do Produto agradeço todo o apoio oferecido nas mais diversas situações.

A todas as pessoas da empresa Küpper & Schmidt que contribuíram e possibilitaram a execução deste trabalho, desejo exprimir o meu agradecimento.

Por fim, mas não menos importante, a todos os familiares e amigos, em especial aos meus pais, à Nini, à Belinha e à Ana, agradeço todo o apoio e paciência.

Índice

1. Sumário 8
2. Introdução 9
3. A Empresa 11
4. O Processo de Fundição Injectada 17
4.1. 1ª Etapa – Fecho do molde e enchimento da camisa 17
4.2. 2ª Etapa – Enchimento do molde 17
4.3. 3ª Etapa – Solidificação e Abertura do molde 18
4.4. 4ª Etapa – Extracção do jito 18
5. Engenharia do Produto 19
6. Apresentação do Projecto 21
6.1 Interpretação de requisitos e concepção do componente 21
6.1.1. Definição geométrica (Pro-Engineer ®) 22
6.1.2. Cálculo mecânico por elementos finitos (Pro-Mechanica ®) 23
6.1.2.1. Critérios de Resistência 24
6.1.2.1.1. Critério de Tresca 25
6.1.2.1.2. Critério de Von Mises 26
6.2. Prototipagem do componente (fundição em areia ou cera perdida) 27
6.2.1. Processos de prototipagem rápida 27
6.2.1.1. A tecnologia SLS 29
6.2.1.2. A tecnologia LOM 30
6.2.2. Processos de Moldação 32
6.2.2.1. Moldação em Areia 32
6.2.2.2. Moldação por Cera Perdida 37
6.3. Validação do Produto 41
6.3.1. Projecto de dispositivo de ensaio 41
6.3.2. Ensaio do Produto 41
7. Planeamento do Projecto 42
8. Desenvolvimento do Projecto 43

8.1 Interpretação de requisitos e concepção do componente 43
8.1.1. Definição geométrica (Pro-Engineer ®) 45
8.1.2. Cálculo mecânico por elementos finitos (Pro-Mechanica ®) 47
8.1.2.1. 1ª Série de testes 51
8.1.2.2. 2ª Série de testes 52
8.1.2.3. 3ª Série de testes 53
8.1.2.4. 4ª Série de testes 54
8.1.2.5. 5ª Série de testes 55
8.1.2.6. 6ª Série de testes 56
8.1.2.7. 7ª Série de testes 57
8.1.3. Definição do Molde 59
8.2. Prototipagem do componente (fundição em areia) 63
8.3. Validação do Produto 78
8.3.1. Projecto de dispositivo de ensaio 78
8.3.2. Ensaio do produto 79
9. Conclusões 81
Anexo A 83
Anexo B 87
Anexo C 89
Desenho A 91
Desenho B 93
Desenho C 95
Desenho D 97
Desenho E 99
Referências Bibliográficas 101

Índice de Figuras

Figura 1 – Empresa Küpper & Schmidt, Componentes de Automóveis Lda. 11
Figura 2 – Forno de Fusão 13
Figura 3 – Máquina de Injecção 13
Figura 4 – Prensa Corte de Jito 14
Figura 5 – Centro de Maquinação 15
Figura 6 – Controlo Final e Embalagem 15
Figura 7 – Chaminês e Estação de tratamento de águas 16
Figura 8 – Parque de resíduos sólidos 16
Figura 9 - Memória descrita Pro-Mechanica® 23
Figura 10 – Domínio dos critérios de resistência 26
Figura 11 – Protótipos executados em SLS 30
Figura 12 – Protótipos feitos em LOM 31
Figura 13 – Caixas de moldação para a execução de moldações 32
Figura 14 – Sequência de execução de uma moldação através de moldação em areia 34
Figura 15 – Sequência de execução de molde em silicone e respectiva peça em cera 38
Figura 16 – Comparação entre moldação em areia e moldação por cera perdida 40
Figura 17 – Planeamento Inicial do Projecto 42
Figura 18 – Disposição da peça no veículo 44
Figura 19 – Disposição espacial das condições impostas para a modelação do componente ... 45
Figura 20 – Definição da base e transição base / pino 46
Figura 21 – Definição da zona plana em cada furo 46
Figura 22 – Numeração dos furos 47
Figura 23 – Direcção de aplicação das cargas de intensidades iguais a 8 kN e - 6 kN 48
Figura 24 – Aplicação da carga num ponto 49
Figura 25 – Aplicação das cargas em secções circulares 49
Figura 26 – Adição de elementos tubulares e indicação de faces restringidas 50
Figura 27 – Componente modelado (Fase I; Vista Cima) 51
Figura 28 – Componente modelado (Fase I; Vista Baixo) 51

Figura 29 – Distribuição das tensões no componente (Fase I; Carga 6 kN) 51
Figura 30 – Distribuição das tensões no componente (Fase I; Carga 8 kN) 51
Figura 31 – Componente modelado (Fase II; Vista Cima) 52
Figura 32 – Componente modelado (Fase II; Vista Baixo) 52
Figura 33 – Distribuição das tensões no componente (Fase II; Carga 6 kN) 52
Figura 34 – Distribuição das tensões no componente (Fase II; Carga 8 kN) 52
Figura 35 – Componente modelado (Fase III; Vista Cima) 53
Figura 36 – Componente modelado (Fase III; Vista Baixo) 53
Figura 37 – Distribuição das tensões (Fase III; Carga 6 kN) 53
Figura 38 – Distribuição das tensões (Fase III; Carga 8 kN) 53
Figura 39 – Componente modelado (Fase IV; Vista Cima) 54
Figura 40 – Componente modelado (Fase V; Vista Baixo) 54
Figura 41 – Distribuição das tensões (Fase IV; Carga 6 kN) 54
Figura 42 – Distribuição das tensões (Fase IV; Carga 8 kN) 54
Figura 43 – Componente modelado (Fase V; Vista Cima) 55
Figura 44 – Componente modelado (Fase V; Vista Baixo) 55
Figura 45 – Distribuição das tensões (Fase V; Carga 6 kN) 55
Figura 46 – Distribuição das tensões (Fase V; Carga 8 kN) 55
Figura 47 – Componente modelado (Fase VI; Vista Cima) 56
Figura 48 – Componente modelado (Fase VI; Vista Baixo) 56
Figura 49 – Distribuição das tensões (Fase VI; Carga 6 kN) 56
Figura 50 – Distribuição das tensões (Fase VI; Carga 8 kN) 56
Figura 51 – Componente modelado (Fase VII; Vista Cima) 57
Figura 52 – Componente modelado (Fase VII; Vista Baixo) 57
Figura 53 – Distribuição das tensões (Fase VII; Carga 6 kN) 57
Figura 54 – Distribuição das tensões (Fase VII; Carga 8 kN) 57
Figura 55 - Indicação do valor maximo na zona do furo 58
Figura 56 - Indicação do valor maximo na zona do pino 58
Figura 57 – Indicação da linha de apartação, sentido de moldação e zona do ataque 59
Figura 58 – Indicação da saída 60

Figura 59 – Indicação da saída 61
Figura 60 – Indicação da saída (Lado Gaveta) 61
Figura 61 – Imagem aproximada do jito da peça 62
Figura 62 – Componente e macho em SLS 64
Figura 63 – Macho e Componente em SLS 64
Figura 64 – Definição do plano de apartação do pino 65
Figura 65 – Plano de apartação após calafetagem 66
Figura 66 – Definição de um dos negativos do conjunto 66
Figura 67 – Imagem de um negativo 67
Figura 68 – Negativos da parte superior do componente X3 67
Figura 69 – Vazamento da resina 68
Figura 70 – Caixas de machos 69
Figura 71 – Projecção e Compactação da areia no interior da caixa de machos 70
Figura 72 – Abertura de furos para facilitar a secagem 70
Figura 73 – Secagem do macho com $C0_2$ 71
Figura 74 – Machos e respectivas caixas de machos 71
Figura 75 – Combustão de gases existente no pino do macho 72
Figura 76 – Sequência de montagem dos machos 73
Figura 77 – Moldação completa 73
Figura 78 – Disposição das moldações para vazamento 74
Figura 79 – Vazamento da liga de alumínio 74
Figura 80 – Jito completo 75
Figura 81 – Componente X3 depois de vibrado, rebarbado e granalhado 76
Figura 82 – Operações de maquinação (1ª e 2ª fases) 77
Figura 83 – Componente X3 (estado final) 77
Figura 84 - Ensaio do Produto 80



1. Sumário

Na tentativa de aproximar os alunos da realidade que é a indústria, é-lhes proporcionado que a cadeira de Projecto de fim de curso seja desenvolvida numa empresa ligada à opção. Assim, foi pedida a colaboração de várias empresas quer da área de injecção de plásticos, quer da área de injecção de ligas leves, para que apresentassem projectos com vista a serem distribuídos entre os diversos alunos.

De entre os projectos disponíveis, a minha escolha recaiu na empresa Küpper & Schmidt, Componentes de Automóveis, Lda., com o tema "Projecto de Componente Automóvel em Fundição Injectada de Alumínio".

O trabalho divide-se nas seguintes fases:

1. Interpretação de requisitos e concepção do componente:
    - Modelação de um componente através de um software apropriado;
    - Cálculo mecânico por elementos finitos, sendo a peça modelada testada em determinadas condições ao nível das cargas e restrições aplicadas;
2. Prototipagem do componente:
    - Execução de um protótipo em areia;
3. Validação do Produto:
    - Projecto de um dispositivo de ensaio;
    - Ensaio do protótipo.

Este relatório pretende apresentar o trabalho realizado no âmbito da disciplina de "Projecto de Fim de Curso", do 5º ano da opção de Tecnologia de Moldação por Injecção da Licenciatura em Engenharia Mecânica. A sua estrutura encontra-se dividida em duas partes, funcionando a primeira como apresentação de todos os dados relacionados com a execução do projecto, para além de serem introduzidos os conceitos técnicos de base, em *itálico*, considerados complementares e importantes. A segunda parte corresponde ao desenvolvimento do projecto, sendo apresentado por ordem cronológica, contendo apenas as fases mais importantes, de modo a ser objectivo e conciso.



2. Introdução

Este trabalho desenvolveu-se numa empresa ligada à fundição injectada de ligas de alumínio, cuja produção se destina exclusivamente à indústria automóvel.

O alumínio e as suas ligas, pelas características de leveza, resistência mecânica, resistência a agentes químicos e atmosféricos, elasticidade, condutividade térmica, facilidade de maquinação, entre outras, apresentam um número quase infindável de aplicações industriais. O facto de terem um peso específico inferior a um terço das ligas ferrosas, faz com que as ligas de alumínio sejam largamente utilizadas na indústria automóvel.

Nesta empresa primam altos níveis de qualidade, assim como, o cumprimento dos prazos de entrega, o que faz com que no seio da indústria automóvel seja reconhecida como uma empresa competitiva.

Na indústria automóvel, como em outras, existe a necessidade de estarmos perante um sistema aberto, onde as partes envolvidas, projectista e produtor, dialoguem com frequência de modo a permitir os avanços e retrocessos normais no desenvolvimento; isto tudo porque na fase de desenvolvimento do projecto podem surgir grandes alterações, tendo em vista a solução de problemas relacionados com a exequibilidade da peça em fundição injectada, a minimização de potenciais defeitos ou o reforço de pontos críticos. Tudo isto com o objectivo final de obtenção de um componente optimizado, cumprindo a sua função ao mais baixo custo.

Neste caso específico existiu um objectivo definido: "Projecto de Componente Automóvel em Fundição Injectada de Liga de Alumínio". A partir de condições iniciais de ligação e atravancamento do componente, foi necessário modelar e obter a peça utilizando para tal um software específico. Nesta fase a sensibilidade do projectista assume um papel importante, para que o caminho seguido desde o início da concepção até ao modelo final seja o mais acertado possível. Assim, é potenciada a validação do componente através do ensaio mecânico de um protótipo.

Os enormes avanços da tecnologia permitem obter, em pouco tempo, um conjunto de simulações muito próximas da realidade, que avaliam inúmeros parâmetros das peças

projectadas proporcionando uma economia considerável no processo de concepção e fabrico de peças de fundição injectada.

O presente relatório pretende desvendar um pouco da realidade industrial, na área do projecto e optimização geométrica, estrutural e funcional de um componente para a indústria automóvel.

3. A Empresa

A Küpper & Schmidt, Componentes para Automóveis, Lda., surgiu em Portugal em 1989 para a produção de peças em ligas de alumínio moldadas através do processo de fundição injectada, sendo o mercado automóvel o seu único cliente. Encontra-se sedeada na Zona Industrial de Oliveira de Azeméis, a 60 km do Aeroporto Internacional do Porto e a 50 km do porto de Leixões.



Figura 1 – Empresa Küpper & Schmidt, Componentes de Automóveis Lda.

Trata-se portanto de uma empresa jovem, embora com grande experiência no grupo empresarial em que se insere. Juntamente com conhecimentos técnicos, pessoal especializado aliado a filosofias modernas de gestão de produção, gestão de fluxos e gestão da qualidade, tornam-na uma empresa de sucesso.

Os processos utilizados usufruem de uma vasta experiência adquirida durante vários anos de funcionamento. Deste modo, a escolha dos equipamentos aliada à tecnologia de ponta que o mercado dispõe, assume um papel extremamente relevante.



A Küpper & Schmidt possui uma estrutura organizacional que assenta em quatro direcções: a direcção Comercial e Administrativa, a direcção da Qualidade, a direcção Técnica e a direcção de Engenharia de Produto.

A direcção comercial e administrativa é responsável por todo o funcionamento ao nível logístico, económico e social da empresa.

À direcção da qualidade, temos ligadas a gestão do sistema de Garantia da qualidade, a Engenharia da Qualidade e a Inspecção da Qualidade.

No que se refere ao sistema de Garantia da Qualidade, a Küpper & Schmidt apresenta-se na vanguarda das certificações de qualidade aplicáveis à indústria automóvel, salientando-se as certificações internacionais ISO9002 em 1997 pela APCER, QS9000 em 1998 e a VDA6.1 em 1999, ambas pela TÜV e a ISO/TS16949 em 2000 também pelo mesmo organismo, para além das certificações atribuídas pelos próprios clientes.

A direcção técnica é responsável pelo planeamento, produção, engenharia do processo, gestão ambiental, manutenção de equipamentos e ferramentas e ainda pelo sector de higiene e segurança. A empresa detém as certificações ISO14001 (ano de 2000) e OHSAS18001 (ano de 2003) ambas atribuídas pela APCER relativas aos sistemas de Gestão Ambiental e Gestão, Higiene e Segurança, respectivamente.

Finalmente, mas não menos importante, a direcção de engenharia de produto tem como funções, a gestão de projectos, a concepção de produtos, a concepção e acompanhamento de ferramentas e a elaboração de toda a documentação e orçamentação técnicas.

A execução de um componente fundido passa pelas seguintes fases:

❋ Armazenamento de matéria-prima

A matéria-prima é adquirida sob a forma de lingotes com composição química controlada, aos quais são adicionados os retornos da fundição.

❋ Fusão

Para a fusão da matéria-prima, existem 5 fornos de fusão de soleira seca da marca *Striko* com carregamento automático, alimentados a gás natural e com temperatura controlada.

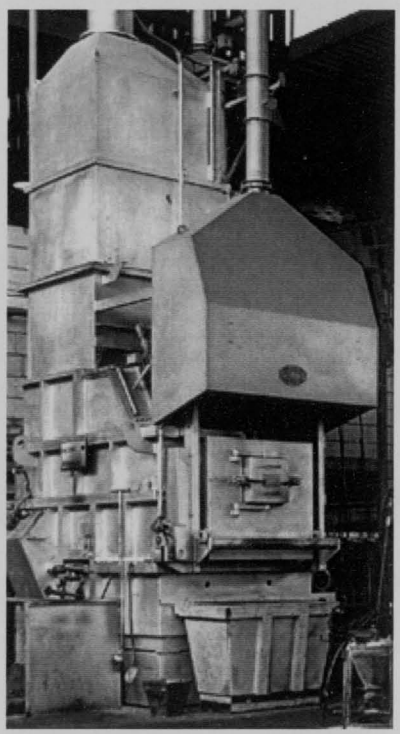
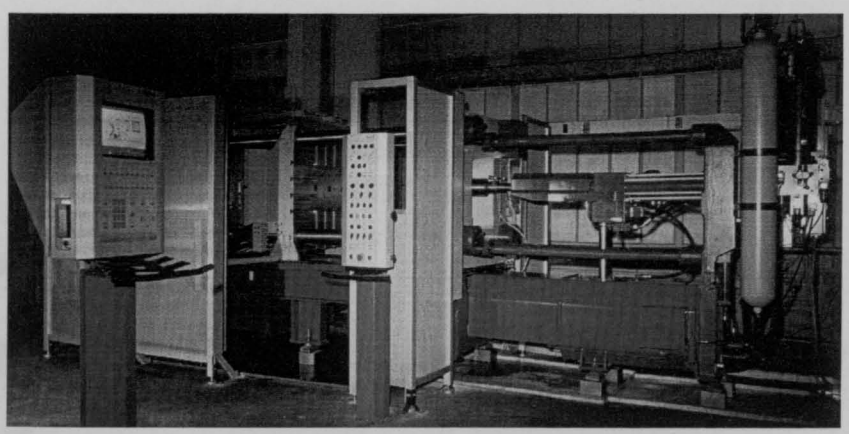


Figura 2 – Forno de Fusão

❋ Moldação

A moldação efectua-se em máquinas de injecção de alta pressão da marca *Bühler*, com lubrificação automática do molde, extracção automática da peça e arrefecimento forçado em túneis próprios para o efeito.

Existem 11 máquinas de injecção com as seguintes forças de fecho:



- 1 Bühler de 400 ton
- 1 Bühler de 500 ton
- 3 Bühler de 630 ton
- 2 Bühler de 660 ton
- 2 Bühler de 840 ton
- 2 Bühler de 900 ton

Figura 3 – Máquina de Injecção

❋ Corte de jito

A cada máquina de injecção está associada uma prensa de corte de jito, que não é mais do que uma prensa hidráulica vertical com uma ferramenta composta de uma matriz e um punção com formas adequadas destinadas a separarem os canais de alimentação e masselotes da peça, por acção de corte.



Figura 4 – Prensa Corte de Jito

❋ Rebarbagem

Conforme a especificação do cliente, a limpeza das peças poderá ser feita por granalhagem ou por vibração de cones cerâmicos.

❋ Maquinação

Um grande número das peças produzidas sofre operações de maquinação. São utilizadas máquinas transfer dedicadas, centros de maquinação CNC e/ou centros flexíveis. Estas operações são subcontratadas a uma empresa do grupo de nome DMM – Desenvolvimento, Maquinação e Montagem, Lda., sedeada em espaço industrial contíguo à Küpper & Schmidt.



Figura 5 – Centro de Maquinação

❋ Lavagem, Controlo Final, Embalagem

Nesta fase as peças são colocadas em cestos no tapete rolante de alimentação do túnel de lavagem. Este é constituído por duas câmaras, uma de lavagem e outra de secagem. O abastecimento é automático, passando as peças ainda por um controlo final, de acordo com planos de inspecção específicos para cada referência.

Finalmente, as peças são embaladas conforme as instruções de embalagem acordadas com o cliente.

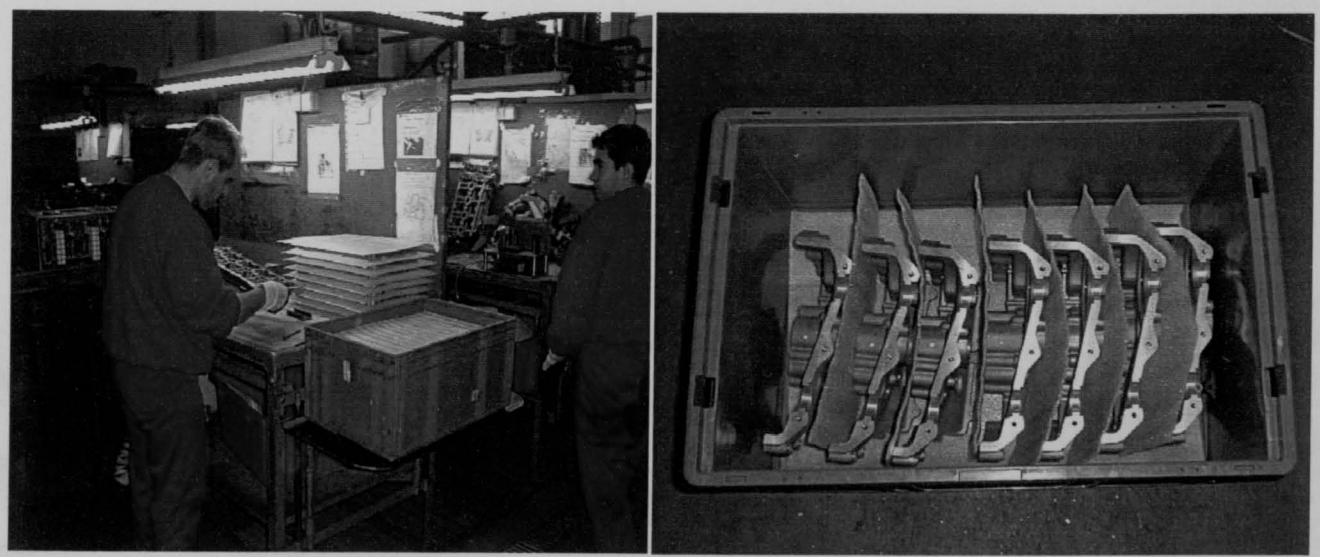


Figura 6 – Controlo Final e Embalagem

As questões ambientais são devidamente consideradas, sendo adoptadas tecnologias limpas, de modo a produzirem o menor impacto no ambiente. Para tal, a Küpper & Schmidt dispõe de mecanismos de controlo ambiental, a saber, correcto dimensionamento dos pontos de emissão gasosa, a estação de tratamentos de águas residuais industriais e a recolha selectiva de resíduos sólidos.

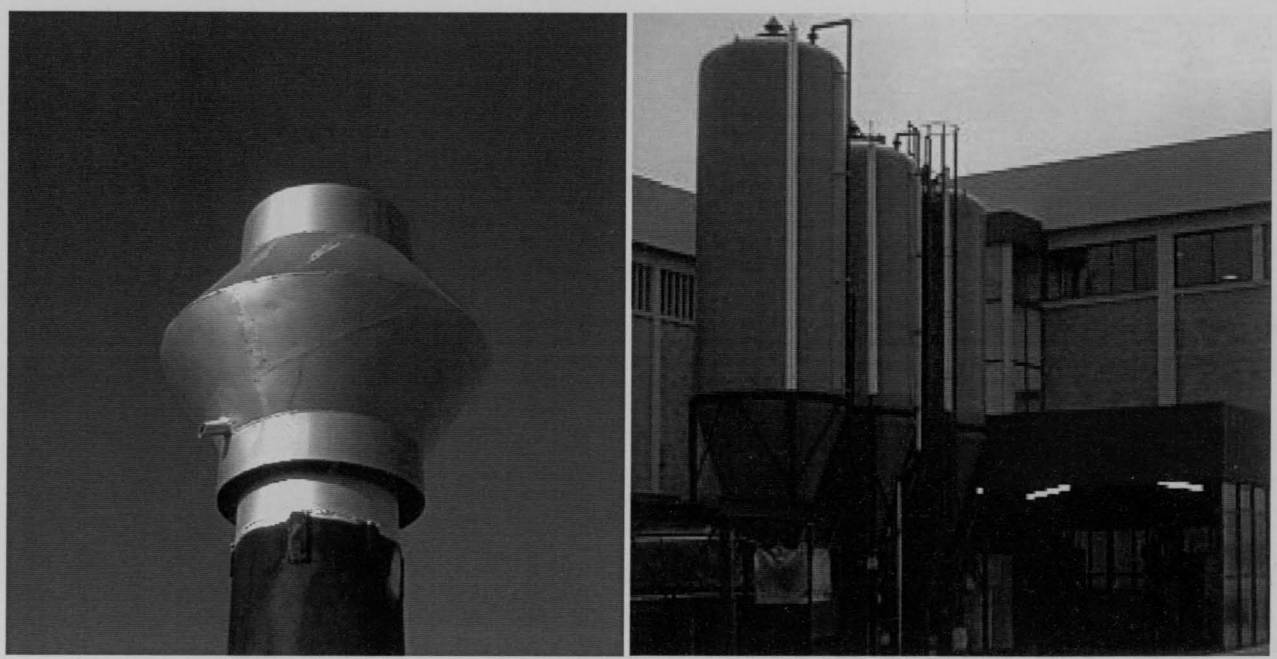


Figura 7 – Chaminês e Estação de tratamento de águas



Figura 8 – Parque de resíduos sólidos



4. O Processo de Fundição Injectada

O processo de fundição injectada de ligas de alumínio por alta pressão é actualmente imprescindível para determinadas indústrias, principalmente as relacionadas com o sector automóvel.

Cada célula de injecção é normalmente composta pela máquina de injecção, que contém o molde, um forno onde está a liga de alumínio a injectar (mantendo-a à temperatura de aproximadamente 680 ºC), um dispositivo (robot) para extracção do jito da máquina, um túnel para arrefecimento e finalmente uma prensa para corte de jito (separação da(s) peça(s) e do respectivo sistema de alimentação).

Assim, o ciclo operatório de uma máquina de injecção divide-se em quatro etapas:

4.1. 1ª Etapa – Fecho do molde e enchimento da camisa

Com o molde aberto, são aplicados o lubrificante e o desmoldante às paredes do mesmo, assim como ao topo do pistão.

Terminada a operação de lubrificação, o pistão recolhe à posição inicial, as gavetas (caso existam) avançam e o molde fecha. Seguidamente, com o auxílio de uma colher refractária, uma determinada quantidade de metal fundido existente no forno é transportada e vazada na camisa de injecção, através de uma abertura própria para o efeito.

A taxa de enchimento da camisa de injecção aconselhável deve variar entre 50 e 75%.

4.2. 2ª Etapa – Enchimento do molde

Uma vez terminado o vazamento do metal da colher na camisa de injecção, o pistão, accionado hidraulicamente, avança no seu interior; numa primeira fase, desloca-se a uma velocidade lenta, tapando a abertura para o vazamento e expulsando o ar existente no interior da camisa de injecção. Pretende-se assim que o alumínio líquido seja transportado até à



entrada do molde o mais rapidamente possível para evitar o seu arrefecimento, mas em regime de fluxo laminar a fim de evitar a mistura de ar no metal líquido. Posteriormente, dá-se uma forte aceleração do pistão. Neste momento, o metal é forçado a entrar para o interior do molde, por acção de elevadas pressões. O enchimento do molde, que se encontra a uma temperatura de aproximadamente 200 ºC, deve ser efectuado o mais rapidamente possível a fim de se evitar o arrefecimento prematuro da liga, que se traduz em zonas do molde "mal cheias" (zonas em que o metal não chega). Contudo, a velocidade de enchimento terá que ser suficientemente lenta para permitir a total expulsão do ar no interior do molde através de ventilações existentes.

Uma vez completado o enchimento da cavidade moldante, o metal é mantido sob pressão, durante um intervalo de tempo definido, com o objectivo de compactar a liga durante o período de solidificação.

4.3. 3ª Etapa – Solidificação e Abertura do molde

Terminada a solidificação, o molde abre e o pistão continua a empurrar o jito contra o lado móvel do molde, de forma a ficar agarrado a este. Neste momento as gavetas, caso existam, são accionadas hidráulica ou mecanicamente, por forma a abrirem, permitindo assim a desmoldagem do jito completo.

4.4. 4ª Etapa – Extracção do jito

Com o molde totalmente aberto, a placa extractora e os respectivos extractores avançam, empurrando o jito e soltando-o do lado móvel do molde.

A porta de segurança abre para que, com o auxílio de um robot, a peça seja retirada do molde e colocada no túnel de arrefecimento, seguindo para a prensa de corte de jito.

Retirado o jito, a porta de segurança volta a fechar e dá-se início a um novo ciclo nas condições de segurança previstas.

5. Engenharia do Produto

O departamento de Engenharia do Produto é o departamento mais jovem da empresa onde foi possível uma fácil integração e uma resposta e acompanhamento eficazes para a elaboração do presente trabalho.

Este departamento assume uma importância relevante, dado protagonizar os processos de desenvolvimento de qualquer projecto, desde a concepção do componente até ao projecto e acompanhamento da execução das ferramentas necessárias à produção.

De uma maneira muito sucinta, e tendo em conta a importância que esta empresa já detém perante os projectistas das marcas automóveis clientes, o processo de desenvolvimento de uma peça passa pelas seguintes etapas: numa primeira fase, é elaborado um orçamento em resposta a uma consulta recebida tendo por base usualmente um componente de referência. Este orçamento contempla normalmente o desenvolvimento do componente, a execução das peças e o investimento em meios de produção necessários ao cumprimento da capacidade de fornecimento solicitada.

Consumada a adjudicação (após a necessária tramitação comercial), são recebidos do cliente os dados de partida para o desenvolvimento do componente, a saber, definição das ligações, topologia optimizada com proposta-base do conceito geométrico e de resistência mecânica do componente em causa, caderno de encargos e planificação de desenvolvimento. A empresa parte assim com estes dados disponíveis para o processo de criação do componente, imputando desde esta fase inicial os conceitos necessários e mandatórios para a execução do componente em fundição injectada. Atingido o nível desejado da especificação do componente, esta é previamente validada com recurso aos métodos mais recentes de simulação de cálculo por elementos finitos, utilizando software apropriado.

Segue-se a fase de aprovação desta especificação com o cliente, sendo necessário a execução e posterior teste de protótipos.

A execução de protótipos é feita no regime de subcontracto, podendo variar entre fundição de areia ou cera perdida. A execução das ferramentas protótipo pode recorrer aos



métodos LOM ou SLS e posterior duplicação (execução de negativos) com recurso aos moldes em silicone ou rígidos em resinas epóxidas.

Obtidos os protótipos no material definitivo e, com o anúncio da conformidade dos valores obtidos em ensaio face à especificação projectada, é dada a autorização para o arranque dos meios definitivos e permanentes para a produção do componente. De salientar que qualquer uma das fases anteriormente mencionadas pode e, normalmente sofre, processos iterativos conducentes à optimização do conceito do componente versus a função requirida.

Nesta fase, é definido o molde a executar, tendo por base a configuração definitiva do componente e o cumprimento da especificação da fase de orçamentação. Assim, é definido o lay-out do molde, tendo em conta a(s) máquina(s) a utilizar para a sua produção.

Nesta fase encontra-se também disponível na empresa software que permite, perante o lay-out idealizado para o molde, prever as fases de enchimento e solidificação do metal na(s) cavidade(s) moldantes definidas. Esta simulação é, mais uma vez, um processo iterativo, fazendo variar os parâmetros de injecção e a colocação de masselotes e/ou alterações mais significativas do sistema de alimentação, obtendo assim diferentes níveis de aproximação e previsão do processo a instalar.

6. Apresentação do Projecto

O projecto escolhido, com a designação "Projecto de Componente Automóvel (apoio de motor) em Fundição Injectada de liga de alumínio" tem como objectivo a concepção do componente com base nas especificações constantes do caderno de encargos do cliente, o seu dimensionamento mecânico e respectiva simulação em Elementos Finitos, e a validação dos resultados obtidos com recurso a teste em protótipo.

6.1 Interpretação de requisitos e concepção do componente

Nesta primeira etapa do projecto pretende-se que sejam devidamente assimilados os requisitos do cliente para este componente, a saber, função (aplicação e localização no veículo, comportamento mecânico), enquadramento dimensional (condições fronteira, fixação, adjacência de componentes) e resistência mecânica (estado de tensão e deslocamento aplicáveis).

É importante compreender que neste projecto não irá ser concebida uma peça de raiz, mas sim um componente que tem por base uma peça de referência a cumprir de forma semelhante a função que se pretende para o novo componente. De forma mais lata, pode-se afirmar que o ponto de partida significa, numa grande percentagem de casos, o retrabalhar de dados informáticos de geração de volumetria mínima versus condições limite e resistência mecânica aplicáveis (topologia optimizada).

Assim, o ponto de partida neste caso é uma peça de referência existente, seguindo-se a adaptação deste conceito à nova situação do caderno de encargos.

6.1.1. Definição geométrica (Pro-Engineer ®)

Terminada a interpretação do componente e seus requisitos, o passo seguinte será a modelação do componente em 3D, com auxílio de um software específico.

6.1.2. Cálculo mecânico por elementos finitos (Pro-Mechanica ®)

Uma vez feito um primeiro modelo do componente, deverá ser efectuada a simulação de cálculo mecânico por elementos finitos a fim de se verificar a resistência do componente face ao estado de tensão e deslocamento aplicáveis. Para além disto, impõe-se uma análise crítica dos resultados obtidos e consequente redefinição do componente caso não sejam cumpridas as condições definidas. O processo é iterativo até que os resultados obtidos cumpram integralmente as referidas condições ou, no mínimo, permitam a correcta opção por eventuais situações de compromisso.

Assim, esta fase (6.1.2.) e a anterior (6.1.1.) formam um ciclo, "simulação – análise – redefinição – simulação" até que seja obtida uma solução para o componente, capaz de resistir às condições requeridas.

Pro/ENGINEER Advanced Structural and Thermal Simulation
Powered by MECHANICA Technology

Delivering higher quality products to meet tighter schedules compels companies to adopt computer aided engineering (CAE) software as an intrinsic part of their design process.



Pro/ENGINEER Advanced Structural and Thermal Simulation allows product development organizations to meet these challenges, giving engineers the power and ease of use required to gain early insight into design performance. This provides engineers with the freedom to explore new ideas and alternatives, and even optimize their designs. This freedom gives them the confidence that the new design will behave as expected, requiring fewer changes during physical prototyping and/or real world use.

For simulation to be adopted as an integral component of the product design process, the tools must be fast, give accurate results, and be easy to use. As a Pro/ENGINEER native application, Pro/ENGINEER Advanced Structural and Thermal Simulation employs the same user interface, workflow, and productivity tools that are prevalent throughout Pro/ENGINEER. Thus, designers leverage their familiarity with and the proven power of Pro/ENGINEER for model creation and collaboration. Additionally, since Pro/ENGINEER model files store simulation-modeling data, data management issues are streamlined.

The comprehensive capabilities of Pro/ENGINEER Advanced Structural and Thermal Simulation are ideal for sophisticated users who work with complicated models, employ complex design processes, or want to take advantage of the broadest range of simulation functionality offered by PTC, including advanced modeling tools, special-purpose analyses, and top-down simulation.

Figura 9 - Memória descrita Pro-Mechanica®



6.1.2.1. Critérios de Resistência

O dimensionamento de elementos estruturais, ou de órgãos de máquinas, tem por objectivo garantir as condições de segurança necessárias para que a estrutura cumpra as funções que lhe foram atribuídas. Conforme o tipo de estrutura e respectiva função, os seus requisitos de funcionamento são variáveis. Deste modo, e de uma forma genérica, a execução de um projecto no que se refere ao dimensionamento deve envolver as seguintes fases:

1. *Definição do tipo de estrutura de acordo com as funcionalidades pretendidas;*
2. *Fixação dos requisitos estruturais e cálculo das acções daí resultantes em função do tipo de utilização prevista;*
3. *Execução de uma análise estrutural com vista à determinação dos esforços, tensões e deformações originadas;*
4. *Comparação dos estados de tensão e deformação nas secções críticas da estrutura com os valores limites fixados pelos regulamentos de segurança aplicáveis (definidos em função do tipo de material utilizado).*

As duas últimas fases designam-se por "verificação da segurança e estabilidade da estrutura" sendo a metodologia a abordar, geralmente, estabelecida por regulamentos ou normas. Em termos de resistência é necessário determinar o ponto mais solicitado da peça ao qual corresponde a tensão máxima (σ_{max}) e comparar este valor com a tensão de cedência do material (σ_{ced}). Deste modo, um problema de dimensionamento reduz-se a encontrar soluções para a inequação do tipo: $\sigma_{max} < \sigma_{ced}$. Normalmente, o valor que se utiliza para o segundo membro da desigualdade não é exactamente igual à tensão de cedência, mas sim uma tensão admissível (σ_{adm}) que não é mais do que a tensão de cedência dividida por um coeficiente de segurança n.

Para ser possível comparar estados de tensão triaxiais com o estado de tensão uniaxial normalmente utilizado na definição das características mecânicas dos materiais, passou a representar-se um estado de tensão triaxial por um estado de tensão uniaxial equivalente, cujo

valor característico se designa por tensão equivalente (σ_{eq}). Assim sendo, passamos para uma inequação do tipo $\sigma_{eq} < \sigma_{adm}$.

Para se determinar o estado de tensão uniaxial equivalente ao estado de tensão triaxial, instalado no ponto crítico da peça, surgiram os critérios de resistência. Contudo, devido ao facto do mecanismo de ruptura dos materiais dúcteis ser diferente do mecanismo de ruptura dos materiais frágeis, os critérios de resistência a aplicar não são iguais para os dois casos. Para o caso dos materiais frágeis utiliza-se o critério de Mohr-Columb, ao passo que para materiais dúcteis aplicam-se o critério de Tresca (ou da Tensão Tangencial Máxima) e o critério de Von Mises (ou da Energia de Distorção).

Em seguida é apresentada uma pequena definição destes dois últimos critérios, admitindo que o estado de tensão no ponto crítico da peça está caracterizado pelas suas tensões principais e que estas se encontram ordenadas por ordem decrescente $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

6.1.2.1.1. Critério de Tresca

O critério de Tresca define que a cedência se verifica para um ponto de uma peça quando, nesse ponto, a tensão tangencial máxima igualar a tensão tangencial máxima verificada no ensaio de tracção para o ponto de cedência do mesmo material. Deste modo, a tensão tangencial máxima para um estado triaxial de tensão é dada pela expressão

$$\tau_{máx} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$$

Segundo este critério, a tensão equivalente será a tensão característica de um estado de tensão uniaxial que produza a mesma tensão tangencial que o estado de tensão triaxial (ou biaxial) em causa.

Temos então

$$\tau_{máx} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{1}{2}\sigma_{eq}$$

6.1.2.1.2. Critério de Von Mises

O critério de Von Mises estabelece que a cedência de um ponto genérico se dá quando a energia de distorção por unidade de volume, nesse ponto, igualar o valor da energia de distorção verificado no ensaio de tracção de um provete do mesmo material.

A energia de distorção para um estado triaxial de tensão foi definida, em função das componentes cartesianas do tensor, por

$$V = \frac{1+\upsilon}{6E}\left[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2\right]$$

A tensão equivalente, isto é, a tensão associada a um estado de tensão uniaxial que provoca a mesma energia de distorção por unidade de volume, será dada por

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}$$

Na Figura 10 apresenta-se uma imagem esclarecedora dos domínios abrangidos pelo critério de Tresca e pelo critério de Von Mises.

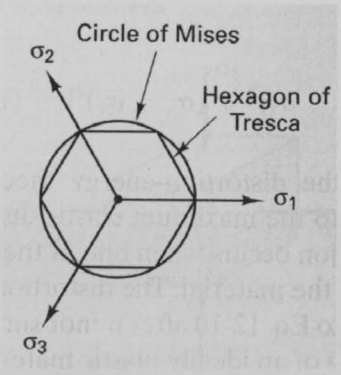


Figura 10 – Domínio dos critérios de resistência



6.2. Prototipagem do componente (fundição em areia ou cera perdida)

Confirmada a especificação obtida face ao caderno de encargos imposto, torna-se necessária a validação desta fase com recurso a teste do componente (segundo procedimento constante do caderno de encargos). Para que esta validação seja possível, é obrigatória a execução de peças para realização dos testes. Atendendo ao grau de incerteza ainda existente, a opção passa pela execução de peças com recurso a soluções rápidas e económicas.

Assim, considerando o reduzido número de peças a realizar, os recentes métodos de prototipagem rápida oferecem a solução mais eficaz e aplicável. Os processos de fundição aplicáveis e disponíveis são de 2 tipos: fundição em areia ou fundição por cera perdida.

O primeiro, desenvolve as ferramentas necessárias com base na definição informática do componente (ficheiro 3D), de forma a obter uma moldação em areia com a cavidade do componente em causa, onde é vazado o metal líquido. No método por cera perdida são executadas as ferramentas necessárias para que o componente seja executado em cera e posteriormente revestido com sucessivas camadas cerâmicas. Após a cura desta carapaça, a cera é eliminada do seu interior, podendo ser vazado o metal líquido nesta cavidade.

Do exposto, conclui-se que a principal diferença entre os 2 processos apresentados reside no material usado para execução da cavidade moldante, sendo que o vazamento é realizado por gravidade, sendo esta condição a principal diferença relativamente à situação real pretendida para o componente (fundição injectada)

6.2.1. Processos de prototipagem rápida

Com a evolução rápida e contínua da tecnologia, o trabalho de um gabinete de projecto fica de certo modo facilitado, com o aparecimento de novas ferramentas de apoio ao projecto,

como sejam o caso do Desenho Assistido por Computador (CAD) com a execução de ficheiros 2D e 3D. No entanto, a execução do projecto não passa só pela definição em suporte informático. Assim, cada vez existe uma maior oferta de soluções para materializar rapidamente o objecto do projecto e assim dar uma resposta mais rápida aos clientes.

A produção de protótipos ou modelos de uma qualquer peça tem vários objectivos, como seja a ajuda eficaz à análise funcional e, se aplicável, também da sua componente estética. Assim, é possível a análise do objecto real em vez de um desenho ou de um modelo feito em computador. Mas, a outra razão e não menos importante no caso de peças que sejam sujeitas a esforços, é a possibilidade de as testar, para se validar, na prática, o cumprimento das condições de desempenho mecânico pré-estabelecidas. Com tudo isto, procura-se reduzir o tempo de desenvolvimento dos produtos e a probabilidade de aparecimento de situações indesejáveis, porquanto não previstas, no produto final.

Para a obtenção de protótipos em ligas metálicas, os processos mais utilizados são a moldação em Areia e a moldação por Cera Perdida. Contudo, os protótipos podem ser feitos nos mais diversos materiais não metálicos, recorrendo para tal a técnicas actuais de Prototipagem Rápida (RP – "Rapid Prototyping").

As técnicas utilizadas em Prototipagem podem dividir-se em dois grandes grupos: no primeiro com recurso a técnicas tradicionais são exemplos a modelação manual, o maquetismo, a carpintaria de moldes, a maquinação convencional e a maquinação CNC Este tipo de tecnologias é extremamente versátil e utiliza praticamente todo o tipo de materiais. No entanto, o facto de serem tradicionais não significa que estejam a entrar em desuso, pese não obstante o facto de terem vindo a perder alguma da sua importância face ao crescente desenvolvimento da prototipagem rápida. No entanto, não deixarão nunca de ter o seu campo de aplicação, tanto na indústria como em outras áreas.

O outro grupo de técnicas está directamente ligado à Prototipagem Rápida. São exemplos, FDM – Fused Deposition Modelling (Modelação por Extrusão de Plástico), LOM – Laminated Object Manufacturing (Fabricação de Objectos por Camadas), TDP – Three Dimensional Printing (Impressão Tridimensional), SLS - Selective Laser Sintering (Sinterização Selectiva por Laser) e SL – Estereolitografia. Este tipo de tecnologias, aliada ao equipamento adequado, tem como características o baixo custo de produção, a possibilidade de serem

usadas em ambiente de escritório, o facto de serem operações automáticas e de fácil uso e a elevada rapidez de execução. Porém, convém salientar que a designação prototipagem rápida pressupõe sempre um processo baseado em CAD 3D, onde o protótipo, executado em poucas horas ou dias, é criado de uma forma quase automática, ainda que possa ser necessário algum trabalho de preparação e de acabamento e que a produção do modelo seja feita por adição de material. Para além disto, o processo deve dispensar a utilização de pessoal especializado e a sua capacidade de gerar formas deve ser quase ilimitada.

A seguir, são descritos os processos disponíveis para utilização neste projecto, a saber, SLS – Sinterização Selectiva por Laser e LOM – Fabricação de Objectos por Camadas.

6.2.1.1. A tecnologia SLS

A sinterização selectiva por laser (SLS) é um processo de prototipagem rápida com elevada utilização. Utiliza pós muito finos de materiais plásticos, compósitos de matriz polimérica, metais revestidos a termoplástico ou ligas leves, os quais são ligados entre si por varrimento com um feixe laser.

Na câmara de construção pré-aquecida é laminada uma camada de pó correspondente à espessura de cada camada. Usando sistemas electromecânicos de precisão, o feixe de laser incide nas partículas, provocando a fusão parcial das interfaces dos pós, obtendo-se assim uma estrutura sólida parcialmente porosa, idêntica às estruturas dos produtos obtidos por compactação seguida de sinterização.

No final do processo, os modelos ficam porosos e apresentam alguma rugosidade superficial o que, para além de levantar problemas de acabamento, exige impregnações com resinas ou tintas para garantir impermeabilidade e baixa rugosidade dos componentes. No caso do modelo obtido por SLS servir para reproduções com moldes de silicone é fundamental impermeabilizá-lo para garantir a desmoldagem do silicone e obter um bom acabamento.

Para a execução de modelos em SLS pode utilizar-se uma vasta gama de materiais para satisfazer diferentes requisitos. A quantidade de pó gasta no fabrico de um modelo é igual ao seu volume.

Na Figura 11, apresenta-se imagens de duas peças fabricadas pelo processo SLS.

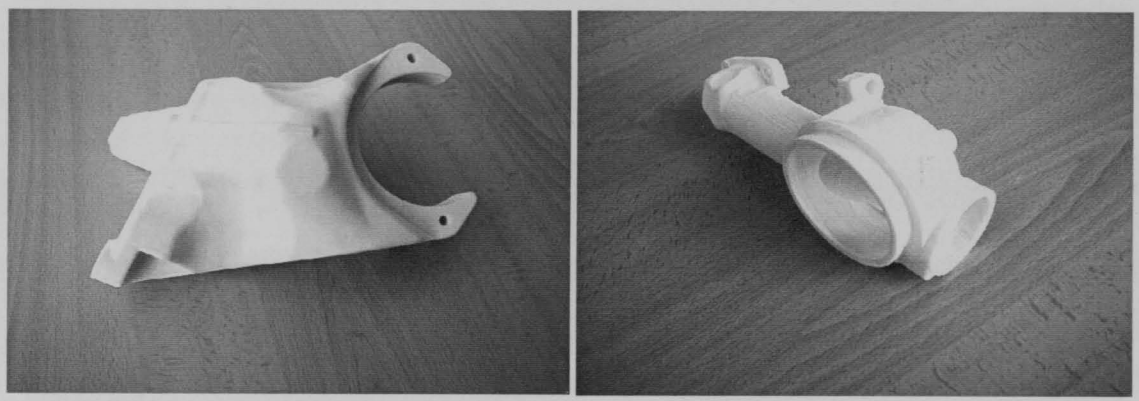


Figura 11 – Protótipos executados em SLS

O processo SLS é um dos melhores processos para obter protótipos funcionais em materiais termoplásticos. A sua execução é rápida, não necessitando de suportes e permitindo uma grande variedade de oferta em termos de materiais e técnicas complementares. Contudo, este processo também apresenta algumas desvantagens, como sejam o elevado custo das matérias-primas e a obtenção de superfícies rugosas.

6.2.1.2. A tecnologia LOM

O processo de prototipagem rápida com a designação LOM (Fabricação de Objectos por Camadas) consiste na fabricação de objectos por folhas de papel com corte por laser, sendo um dos processos mais antigos na área da prototipagem. Neste processo, os modelos são fabricados colando sucessivamente folhas de papel, nas quais são cortados, por um feixe laser, os contornos exteriores correspondentes aos cortes locais dos componentes. O equipamento utilizado desenrola um rolo de papel impregnado com cola termoplástica na sua superfície inferior. Posteriormente, um rolo pré-aquecido a cerca de 300 ºC comprime a lâmina de papel sobre a camada anterior dando-se então a colagem entre as duas camadas. Após a colagem, o feixe de laser, com uma potência na ordem dos 25 a 50 W, controlado por um sistema

electromecânico e por espelhos, efectua o corte do contorno da peça. Para além disto, o resto do papel, que não faz parte do componente, é cortado em quadrados ou rectângulos para facilitar a futura remoção da peça do interior do bloco de papel colado. Para assegurar a rigidez das peças e dos cubos ou paralelepípedos, estes são envolvidos por um caixilho que é realizado simultaneamente com todo o conjunto. Desta forma, o consumo de papel é o equivalente à envolvente dos componentes fabricados, acrescido do respectivo casquilho e das abas laterais de papel para desenrolar o rolo.

Na Figura 12 apresentam-se dois exemplos de protótipos executados através da tecnologia LOM.

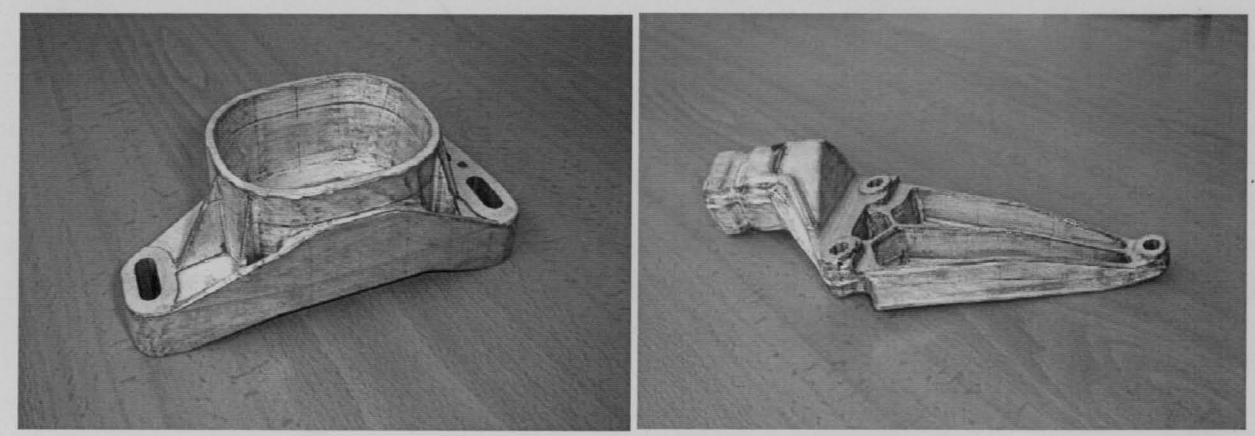


Figura 12 – Protótipos feitos em LOM

Este processo, de rápida execução e baixo custo, permite produzir de uma única vez, componentes com volumetrias até 800x500x500 mm, com uma precisão dimensional e geométrica superior quando comparado com o processo SLS, especialmente nos eixos X e Y. No entanto, sendo a matéria-prima o papel, o processo apresenta alguma instabilidade na presença de humidade. Têm fraca precisão dimensional no eixo Z e dificuldade em espessuras inferiores a 2 mm em peças de grande dimensão. Para além disto, necessita ainda de mão-de-obra elevada para a descubicagem do conjunto e impermeabilização do protótipo.

6.2.2. Processos de Moldação

Os processos disponíveis para utilização neste projecto, a saber, moldação em Areia e moldação por Cera Perdida são a seguir descritos.

6.2.2.1. Moldação em Areia

O processo de moldação em areia tem vindo a sofrer modernizações com o passar dos anos.

A vertente mais antiga e tradicional consiste na execução de duas ou mais meias moldações em areia, onde é gravada a imagem de uma peça idêntica à desejada. Na execução destas, é normal utilizarem-se uns caixilhos metálicos, designados como caixas de moldação, no interior dos quais se realizam as moldações. A razão da sua existência deve-se ao facto de assim se conseguir uma melhor consolidação, mas também facilitar o seu transporte e posicionamento.

Na Figura 13 é possível ver uma imagem das caixas de moldação.

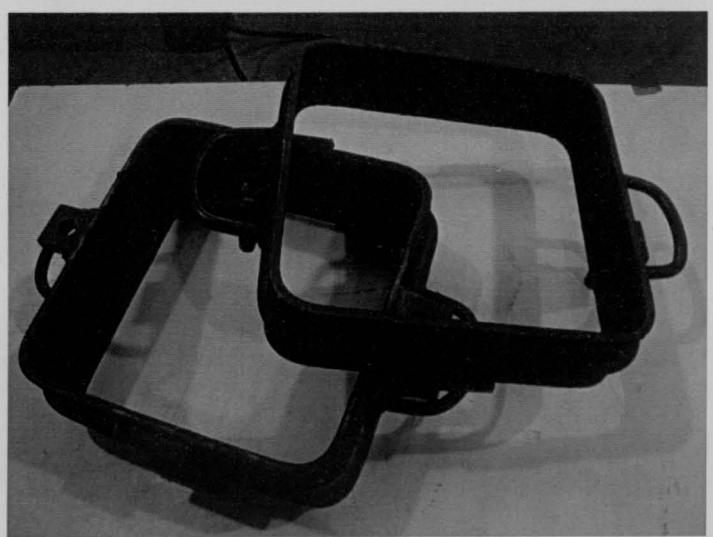


Figura 13 – Caixas de moldação para a execução de moldações



O material normalmente utilizado na execução das moldações tem a designação de areia verde. É constituída fundamentalmente por areia aglomerada por uma argila apropriada e água, tendo ainda presente aditivos, como por exemplo, o pó de carvão. Quando bem preparada, torna-se um material muito refractário e acima de tudo barato, daí a sua grande utilização.

A moldação em areia tem a característica de não ser permanente, isto é, cada uma serve apenas para um vazamento pois normalmente não é possível retirar a peça fundida sem a estragar. Assim, no caso de queremos realizar uma série de peças temos de fazer tantas moldações quantas as peças fundidas.

Para a execução de furos e outras superfícies que normalmente são moldadas por gavetas em fundição injectada, utilizam-se umas partes postiças às quais se dá o nome de machos. Os machos são normalmente feitos numa areia especial, mais resistente e também mais cara que a areia normal das moldações.

A ferramenta utilizada para fazer um macho chama-se caixa de machos e tem a forma fêmea (negativo) do macho, facilitando assim a sua rápida obtenção. Geralmente é composta por duas ou mais partes que se podem montar, por encaixe, de modo a tornar possível a sua execução. Uma vez feito o macho, as duas ou mais partes da caixa separam-se para retirar o macho do seu interior.

Para permitir um correcto e fácil posicionamento do macho na moldação, fazem-se nesta, pequenas cavidades onde este vai encaixar (imprensos).

Para a gravação da peça nas moldações, podem ser utilizadas várias soluções, se bem que o princípio básico é o mesmo. A solução mais usual utiliza placas molde superior e inferior que são placas de madeiras ou metálicas nas quais existe gravada a forma da peça que irá ser moldada pela respectiva moldação. O processo consiste em colocar sobre a placa molde uma caixa de moldação e encher o seu interior com areia. Depois a areia é calcada para que adquira a forma e a resistência adequadas. Esta operação pode ser executada manualmente, no caso de moldação de pequenas séries ou peças de grandes dimensões, ou então por meio de máquinas.

Na Figura 14 apresenta-se uma imagem elucidativa da sequência de execução de uma moldação.

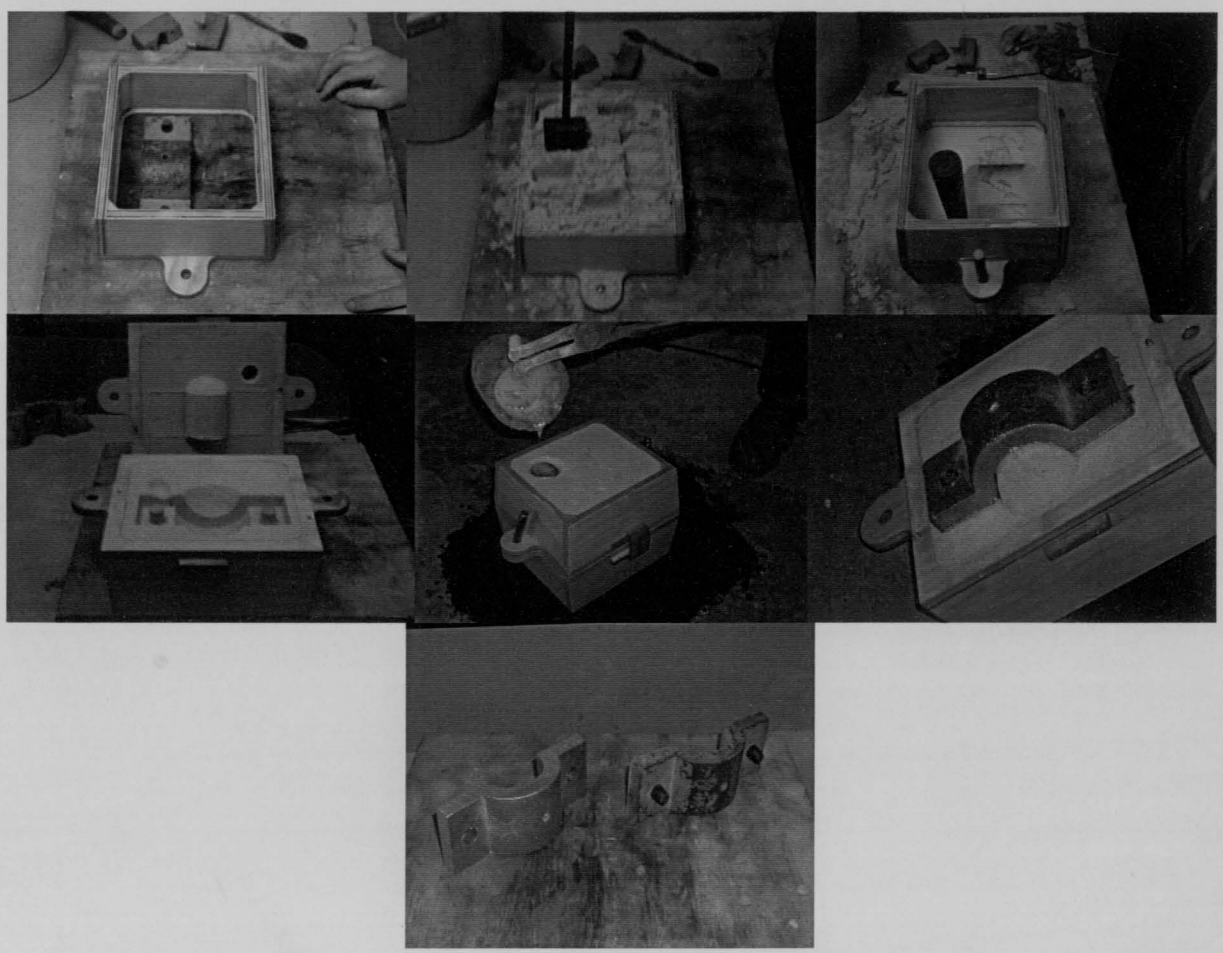


Figura 14 – Sequência de execução de uma moldação através de moldação em areia

Em alternativa às placas molde, é possível realizar moldações utilizando peças ou protótipos destas. Podemos ter uma peça ou protótipo completos ou então cortados pelo plano de apartação. No caso de utilizarmos uma peça ou protótipo completos, o processo é em tudo idêntico ao que se utiliza com placas molde. Já no caso de utilizarmos peças ou protótipos cortados pelo plano de apartação, o processo difere no facto de primeiro colocarmos a caixa de moldação e no seu interior suspendermos a peça de modo a que os planos de apartação fiquem coincidentes. Depois vai-se enchendo a caixa de moldação com areia até ao plano de apartação e então retira-se a peça. O processo repete-se para a outra moldação. Esta última solução requer uma maior habilidade por parte do operador.

Regra geral, as placas molde, as peças e as caixas de machos a utilizar na execução das moldações são feitas em madeira, pela facilidade com que se trabalha e porque, convenientemente pintadas ou envernizadas permitem, sem excessivo desgaste nem deterioração, fazer pequenas ou médias séries de moldações.

Conjuntamente com a gravação da peça na moldação é ainda aberto o sistema de jitagem composto pelos canais de distribuição, os ataques à peça, o jito e os alimentadores.

O sistema de jitagem tem como principal função a condução do metal líquido para o interior da moldação de modo a garantir o completo enchimento da peça. Paralelamente, serve ainda para criar condições favoráveis à solidificação da peça e para tentar suprimir, tanto quanto possível, a necessidade de colocar alimentadores. Contudo, a sua definição deve ter em conta os seguintes aspectos:

- *Não provocar a erosão da moldação nem dos machos;*
- *Não provocar o arrastamento de gases (ar) para o interior das peças;*
- *Ter pouco volume, para gastar pouco metal e assim ser económico;*
- *Facilitar o corte de jitos e rebarbagem, depois da solidificação das peças.*

A utilização de alimentadores permite evitar totalmente, na maior parte dos casos, o aparecimento de macrorrechupes nas peças e diminuir a importância do microrrechupe, sem que se consiga eliminá-lo completamente do interior das mesmas. O aparecimento de macro e microrrechupes deve-se à contracção dos materiais ao solidificar.

Importa salientar que, para que os alimentadores desempenhem a sua função é necessário que permaneçam no estado líquido até à completa solidificação das zonas a que estão ligados e, para além disso, que se mantenha sempre uma passagem líquida livre que permita o fornecimento do metal do alimentador para as zonas onde tenderia a criar-se um rechupe. Deste modo, os alimentadores devem ser a última parte do conjunto a solidificar.

Uma vez feitas as meias moldações e os machos, caso sejam necessários, o conjunto é montado e está pronto para ser feito o vazamento.

Depois de se vazar o metal para o interior da moldação e após a solidificação e o arrefecimento deste, a moldação é destruída com auxílio de grelhas vibrantes, fazendo-se a separação das peças para um lado e a areia para outro. As caixas de moldação são



recuperadas e voltam à secção de moldação. A areia, quer a verde, quer a de machos, é também recuperada, na sua quase totalidade, voltando de novo a ser utilizada em novas moldações, depois de repreparada.

Como variante ao processo acima descrito, existe a possibilidade de, para pequenas séries, e com um custo inferior, utilizar um método em que as ferramentas (machos) são executadas separadamente e cuja montagem permite a criação da cavidade moldante, dispensando-se assim as caixas de moldação. Esta variante existe dado o aparecimento nas últimas 2 décadas das resinas epóxidas e da possibilidade da sua utilização na reprodução de equipamentos de fundição.

Deste modo, partimos de uma peça ou de um protótipo idêntico ao componente que desejamos obter.

É definida a linha de apartação, ou no caso de serem necessários mais do que dois machos, são definidas as respectivas linhas de apartação. Em volta do componente são colocadas sucessivas placas de madeira com um contorno recortado de forma aproximada ao do componente. É deixada uma folga entre as faces das várias placas de madeira e a face do componente para o vazamento de uma resina epóxida que irá copiar fielmente o componente. Após a cura e a solidificação da resina vazada, separamos o conjunto e temos então o componente e o seu negativo.

O processo volta-se a repetir para obtermos então um positivo a partir do negativo já existente. Este positivo corresponde à parte do componente que seja modelada pelo macho criado.

Seguidamente é feita uma nova estrutura, normalmente um caixa em forma trapezoidal circunscreverá o positivo e deixando o espaço necessário para a compactação da areia. A esta caixa dá-se o nome de caixa de machos.

Uma vez criadas todas as caixas de machos necessárias, procede-se à execução dos machos, as ferramentas que em conjunto criam a cavidade moldante.

Para a criação dos machos coloca-se uma mistura de areia de sílica com silicato de sódio no interior da caixa de machos. É feita a compactação da areia, a secagem com recurso a CO_2 e extracção do macho.



É montado o conjunto dos machos e vazada a liga. Após o seu arrefecimento, a moldação é destruída e a peça retirada.

Em ambos os métodos, a peça fica ainda com alguma areia aderente à superfície sendo necessário proceder à sua remoção. Para tal, sujeita-se a peça a uma decapagem com jacto de granalha ou areia. Uma vez eliminados os machos e realizada a decapagem, cortam-se os jitos e os alimentadores, por uma simples pancada ou com recurso a discos de esmeril rodando a alta velocidade.

Em suma, trata-se de um método que não permite obter grande precisão dimensional, devido à elevada rugosidade resultante dos espaços inter-granulares da areia. Contudo, trata-se do processo de prototipagem mais económico apesar de cada moldação apenas servir para um vazamento, uma vez que para se extrair a peça, esta tem que ser destruída. Contudo, a execução de um moldação para Fundição em Areia é mais rápida que para Fundição Injectada, daí a escolha deste processo para a obtenção de protótipos.

6.2.2.2. Moldação por Cera Perdida

O processo de moldação por cera perdida é usado para obter peças com grande precisão dimensional e devido a esta característica, aquando do seu aparecimento era utilizado maioritariamente nas indústrias de armamento e aeronáutica.

Actualmente o seu campo de aplicação é extremamente vasto, aplicando-se praticamente a todos os ramos da indústria, tal a sua evolução. Para além disso, deixou de ser apenas um processo para produção unitária, normalmente protótipos, passando a ser utilizado também no fabrico em série.

A grande diferença entre o processo de moldação por cera perdida e moldação em areia encontra-se no acabamento superficial resultante nas peças, em que o primeiro se destaca largamente, criando peças com uma superfície mais suave, para além das capacidades dimensionais deste processo.

O processo de moldação por cera perdida divide-se em duas variantes, a moldação por cera perdida em carapaça e moldação por cera perdida em bloco.

Em ambos os casos é necessário utilizar ferramentas intermédias, para converter protótipos em SL, SLS, LOM; FDM ou outros, em protótipos em cera. O processo que permite esta conversão é conhecido por vazamento em vácuo em moldes de silicone.

Este processo consiste em colocar o protótipo inicial suspenso, através de hastes metálicas e/ou cabos no interior de uma caixa metálica. Posteriormente, é feito o vazamento de silicone transparente, previamente desgaseificado em vácuo, para dentro da caixa e dá-se a polimerização.

Em seguida, realizam-se uma série de cortes irregulares no silicone para ser retirado o protótipo. A irregularidade dos cortes permite garantir o posterior guiamento dos vários componentes do molde.

As várias partes do molde são fechadas e este é colocado numa câmara de vácuo onde se faz o vazamento de uma resina e obtemos então um protótipo em cera idêntico aquele que pretendemos.

A utilização de moldes de silicone permite que as peças não tenham grande saída ou até mesmo tenham contra-saídas, uma vez que a excelente maleabilidade do silicone permite que os protótipos consigam ser retirados, com alguma facilidade, nestas situações.

Na Figura 15 apresenta-se uma sequência elucidativa da execução de um molde de silicone e respectiva peça em cera.

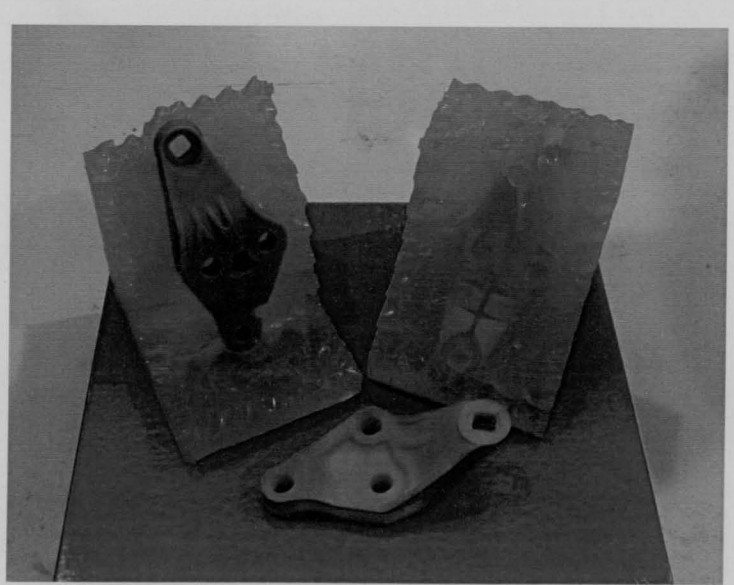


Figura 15 – Sequência de execução de molde em silicone e respectiva peça em cera

Após a obtenção de uma peça em cera é possível escolher entre os dois processos de moldação por cera perdida.

O processo de moldação em carapaça consiste em mergulhar sucessivamente o modelo num líquido aglomerante, numa barbotina e depois num material refractário. Esta sequência é repetida várias vezes, ao mesmo tempo que é aumentada a granulometria da barbotina e do material refractário, até que fique criada a espessura desejada para a carapaça que envolve o modelo.

O conjunto carapaça com cera é colocado num forno a uma temperatura na ordem dos 1000ºC para que a cera derreta e abandone a carapaça. A carapaça permanece ainda durante cerca de uma hora, no interior do forno, para ganhar uma maior consistência e para que os últimos restos de cera, alojados em locais de difícil acesso se evaporem. Obtem-se assim a carapaça sem cera.

Finalmente faz-se o vazamento do metal para o interior da carapaça. Terminada a solidificação e arrefecimento, a carapaça é destruída e a peça é retirada.

O processo de moldação em bloco consiste em colocar a peça em cera dentro de uma caixa de moldação e enche-la de areia. A areia é calcada em redor da peça tendo o cuidado de exercer pressões distribuídas a mais uniformemente possível para não deformar o modelo.

Ao vazar o metal, a elevada temperatura deste faz volatilizar o modelo que deixa a moldação vazia, e portanto apta a receber o metal.

Uma vez vazado, solidificado e arrefecido o metal, o processo é em tudo idêntico à moldação em areia, pois a moldação é destruída para ser retirada a peça.

Este processo apresenta a grande vantagem de não ser necessário abrir a modelação para que o modelo seja retirado, basta liquefazer a cera e fazê-la cair pelos sistemas de jitagem da moldação, pelo que não é necessário plano de apartação e consequentemente as duas metades da moldação. Pela mesma razão não é necessário que a peça tenha saídas, podendo por isso ter praticamente a forma que se quiser.

Na Figura 16 apresentam-se duas imagens onde se pode comparar a diferença do acabamento superficial resultante da execução em moldação por areia ou moldação em cera perdida.

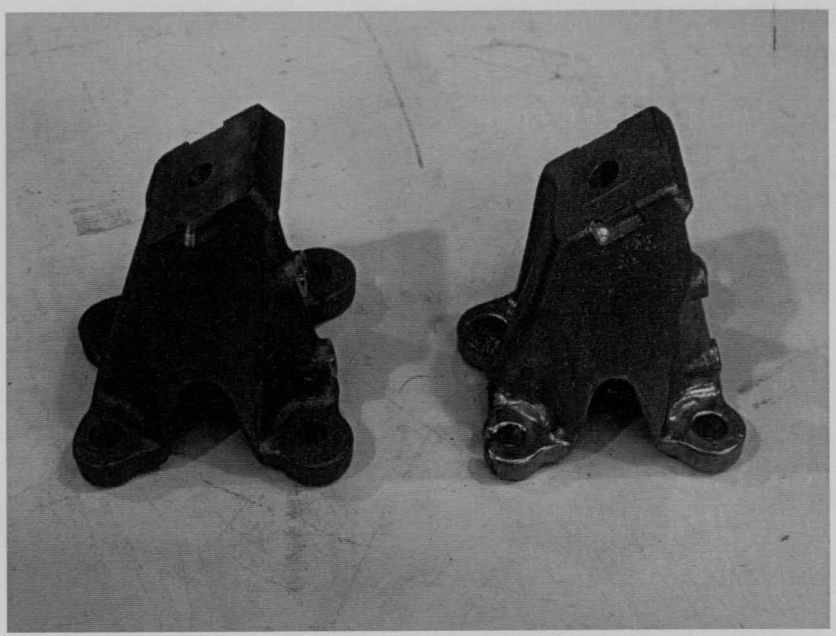


Figura 16 – Comparação entre moldação em areia e moldação por cera perdida

6.3. Validação do Produto

Esta fase deverá consistir num teste real ao protótipo executado e comparação dos resultados teóricos com os reais.

6.3.1. Projecto de dispositivo de ensaio

Com base em dispositivos de ensaio existentes no mercado, deverá ser projectado um novo dispositivo com vista a testar o protótipo do componente, simulando as condições previstas no caderno de encargos do cliente.

6.3.2. Ensaio do Produto

Esta é a derradeira fase do projecto com execução do teste real ao protótipo. Deverá ser feita a comparação entre os valores obtidos pelo cálculo mecânico por elementos finitos e o teste real.

7. Planeamento do Projecto

Foi feito um planeamento do projecto com atribuição de tempo para cada etapa, contabilizando as interrupções obrigatórias.

Convém salientar que a falta de experiência não me permite criar um planeamento com total certeza.

Contudo, tal como em qualquer projecto, também o plano de execução pode sofrer ajustes, com aumentos e diminuições dos intervalos atribuídos para que se aproxime ao máximo do real.

Na Figura 17, é apresentado o plano feito no início do projecto.

Task Name	Duration	Start	Finish
Interpretação de requisitos e concepção do componente	0 days	Mon 17-02-03	Mon 17-02-03
Definição Geométrica (Pro-Engineer)	5 wks	Mon 17-02-03	Fri 21-03-03
Cálculo mecânico por elementos finitos (Pro-Mechanica)	4 wks	Mon 17-03-03	Fri 11-04-03
Prototipagem do componente	3 wks	Mon 28-04-03	Fri 16-05-03
Validação do Produto	0 days	Fri 16-05-03	Fri 16-05-03
Projecto de Dispositivo de Ensaio	3 wks	Mon 28-04-03	Fri 16-05-03
Ensaio do Produto	1 wk	Mon 19-05-03	Fri 23-05-03
Férias da Páscoa	**1 wk**	**Wed 16-04-03**	**Tue 22-04-03**
Queima das Fitas	**1 wk**	**Mon 05-05-03**	**Fri 09-05-03**
Entrega do Relatório Preliminar	1 wk	Mon 02-06-03	Fri 06-06-03
Entrega do Relatório Final	0 days	Thu 10-07-03	Thu 10-07-03

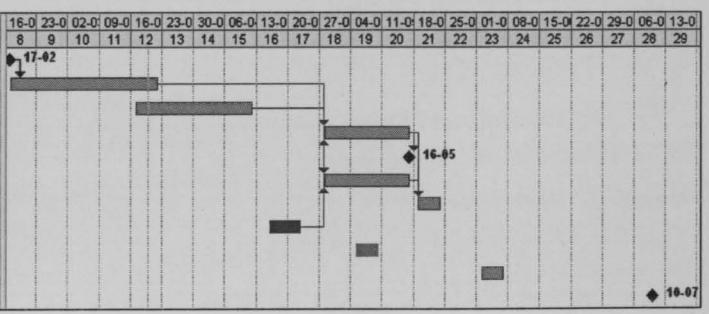


Figura 17 – Planeamento Inicial do Projecto



8. Desenvolvimento do Projecto

8.1 Interpretação de requisitos e concepção do componente

Tal como foi apresentado, a primeira fase do projecto dizia respeito à "Interpretação dos requisitos e geometria da peça".

Assim, o objectivo a atingir seria a modelação de uma peça respeitando as condições inicialmente determinadas. Por questões de sigilo e confidencialidade profissionais, foram atribuídos nomes de código sem qualquer relação com códigos de projecto e/ou clientes.

De uma forma sucinta, estas condições são:

- O componente a projectar deve seguir de perto a definição da peça de referência aqui denominada de X1 (desenho A);
- O componente a projectar tem a referência X3 (desenho B);
- Pino com definição geométrica igual à do componente X1;
- 3 furos para fixação do componente, existentes num plano distinto do plano que contém o eixo do pino;
- O componente X3 deve cumprir a definição geométrica do componente X1 tendo dimensionalmente a definição indicada no desenho C. A espessura geral de partida deve ser de 5mm. As restantes dimensões eram de livre arbítrio, esperando-se do projectista a correcta definição face ao que era esperado em termos do dimensionamento do componente;
- A liga a considerar é a AlSi12Cu1(Fe);
- O componente deve resistir ao estado de tensão previsto no caderno de encargos do cliente;
- O peso total do componente não pode exceder 0,380kg (o peso específico da liga de alumínio é 2,750kg/dm^3.

Na aplicação prática, a peça a desenvolver (apoio de motor), funciona conjuntamente com outros dois componentes (peça A e B) cumprindo também funções ao nível do suporte do motor. Assim, enquanto estes dois são responsáveis pelo correcto posicionamento do bloco do motor relativamente ao chassis do veículo, o componente a projectar X3 encontra-se aparafusado ao motor e recebe na zona da garganta existente no pino, um componente de base elastómera de forma aproximadamente circular (desenho D). Do outro lado, temos uma outra peça em forma aproximada de caixa (desenho E) que está aparafusada à travessa da frente do veículo e que irá receber no seu interior a borracha conjuntamente com o outro componente. Deste modo, os esforços de rotação do motor quando em função são transmitidos do componente X3 à peça "em caixa" e por esta e pelo componente elastómero absorvidos.

Na Figura 18 apresenta-se uma imagem esclarecedora da disposição da peça no veículo.

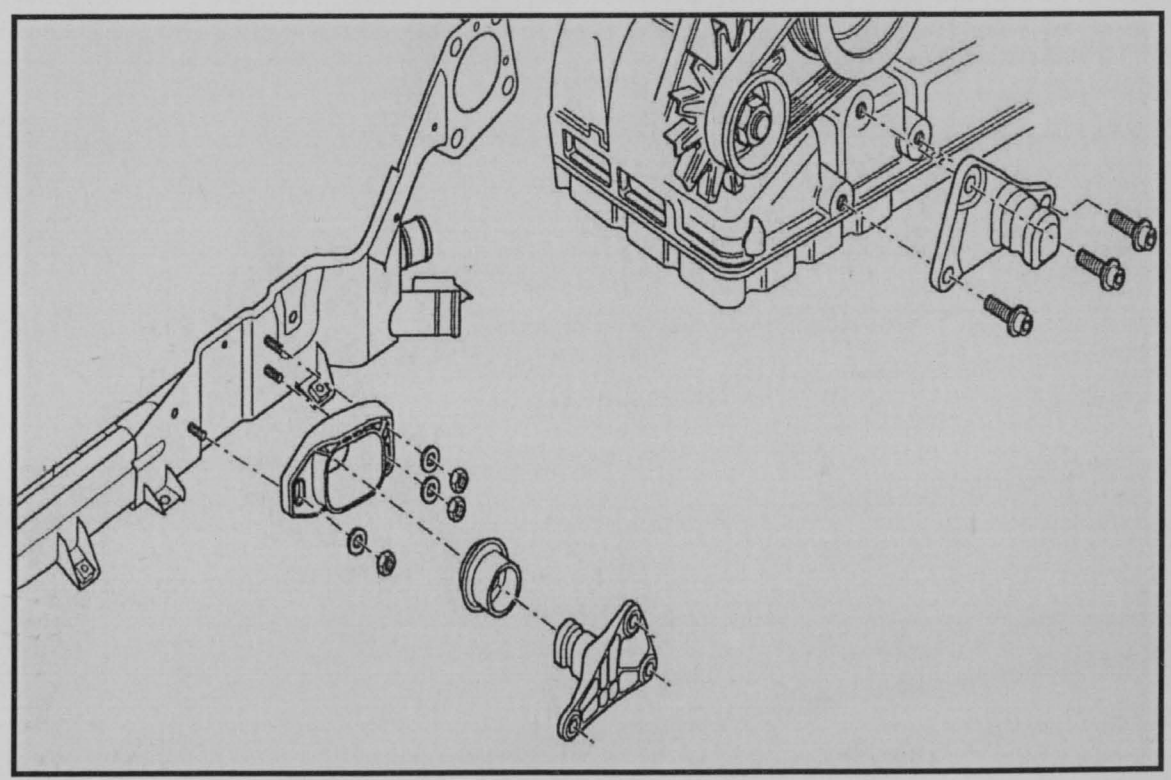


Figura 18 – Disposição da peça no veículo

8.1.1. Definição geométrica (Pro-Engineer ®)

A modelação iniciou-se com a disposição espacial das condições impostas pelo componente de referência, apresentando-se uma imagem dessa disposição na figura 19.

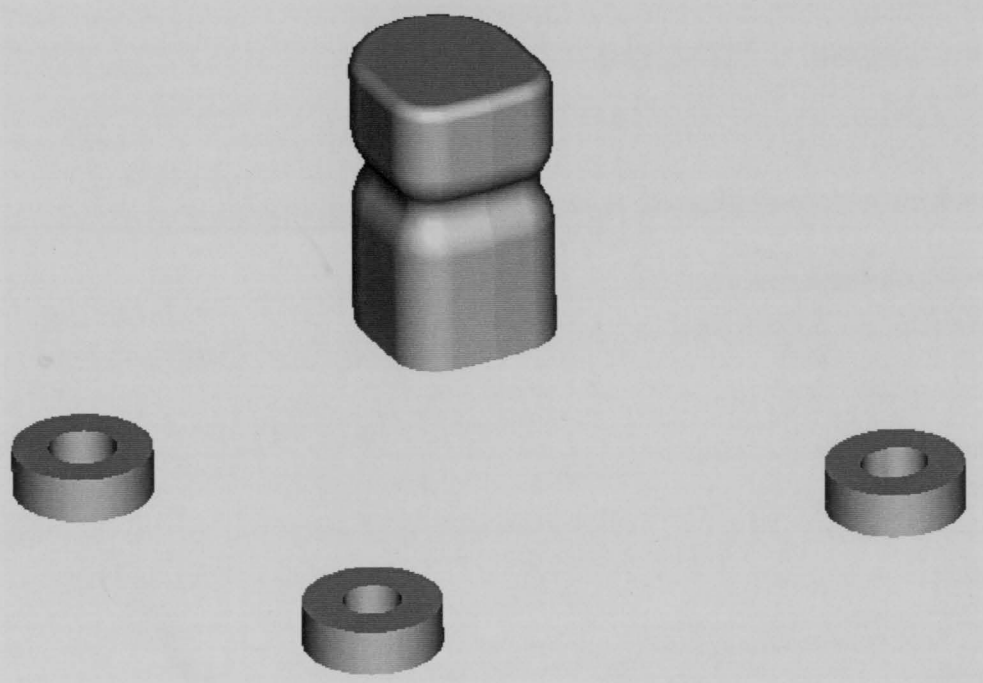


Figura 19 – Disposição espacial das condições impostas para a modelação do componente

Seguidamente definiu-se a base e a transição pino/base. Esta transição foi definida através da geração de uma superfície que suaviza-se a quase perpendicularidade do pino (90,7° 90,4° relativamente ao plano da base) relativamente à base.

Na figura 20 apresenta-se uma imagem elucidativa da superfície gerada.



Figura 20 – Definição da base e transição base / pino

Contudo, é necessário garantir uma zona plana na face superior de cada furo, a 10 mm da plano da base do componente, com um diâmetro de 19 mm onde irão encostar as cabeças dos parafusos de fixação. Para tal, foi preciso recortar à superfície criada anteriormente para obter no furo mais próximo do pino, a referida superfície. Na figura 21 apresenta-se uma imagem onde é possível visualizar a alteração referida.

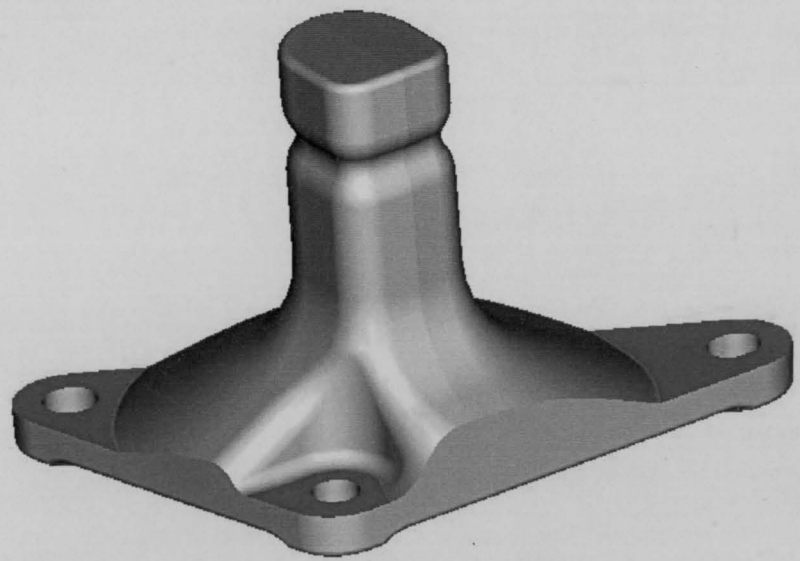


Figura 21 – Definição da zona plana em cada furo

Torna-se também importante nesta fase, numerar cada um dos furos para fácil localização em futuras referências. A numeração dos furos é perceptível na Figura 22.

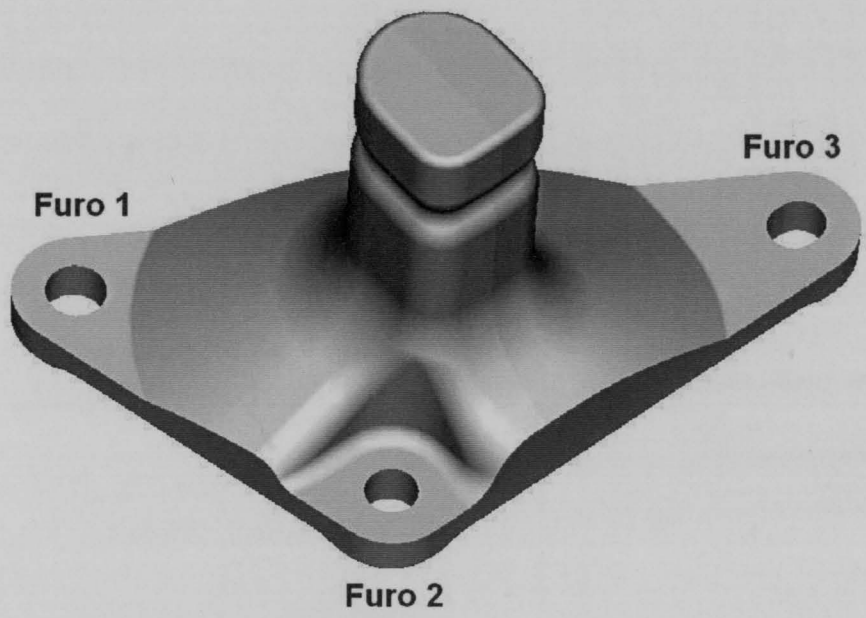


Figura 22 – Numeração dos furos

8.1.2. Cálculo mecânico por elementos finitos (Pro-Mechanica ®)

Terminada a primeira fase da modelação passou-se então para a simulação da peça através de cálculo mecânico por elementos finitos.

A partir do caderno de encargos do cliente, a peça deve ser testada em duas situações: na primeira, é-lhe aplicada uma carga de intensidade igual a 4±4 kN, sob uma frequência de 0.5 – 2 Hz, durante 20 ciclos num sentido. A segunda corresponde à aplicação de uma força de valor - 3±3 kN, sob uma frequência de 0.5 – 2 Hz, durante 3 ciclos. A partir da Figura 23 é mais fácil perceber a direcção e sentido de aplicação das cargas atrás descritas. No entanto, por questões de simplificação, os testes são feitos considerando as situações limite de solicitação, mas de uma forma estática, ou seja, no primeiro submete-se o componente a uma força de intensidade igual a 8 kN e, da mesma forma, a carga aplicada no segundo caso terá valor igual a - 6 kN.

O resultado teria que ser um componente em que a distribuição das tensões de corte não ultrapassasse os 200 MPa, já que este é o valor de Tensão de Cedência da Liga de Alumínio utilizada para esta peça.

De referir que a escala apresentada nas imagens das simulações tem como unidade o Pascal (Pa).

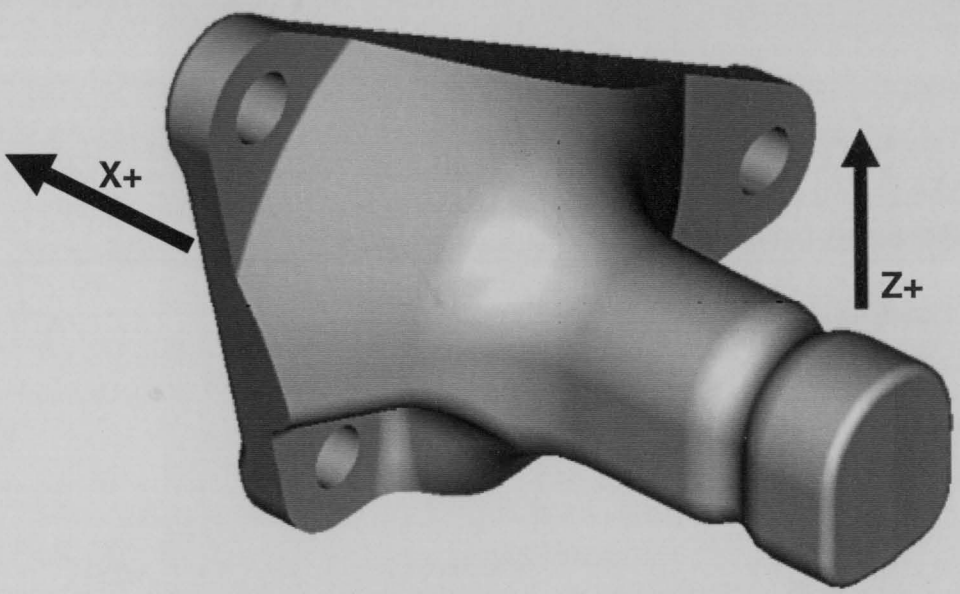


Figura 23 – Direcção de aplicação das cargas de intensidades iguais a 8 kN e - 6 kN

Relativamente ao ponto de aplicação de cada uma das cargas, não existia nenhuma especificação dada pelo cliente. Apenas, e mediante a interpretação da forma como a peça monta no veículo, se sabe que a carga aplicada no componente é considerada como uma carga distribuída pela superfície em contacto com a borracha. Deste modo, inicialmente foram consideradas várias hipóteses para aplicação da carga como aplicação de carga num ponto (ver na Figura 24).

A outra solução, que depois se tornou na mais correcta, corresponde à aplicação da carga numa secção circular criada nas superfícies do pino. Esta solução é facilmente perceptível na Figura 25. De facto, após simulação com a aplicação da carga na primeira hipótese, forma encontrados valores sem qualquer nexo.

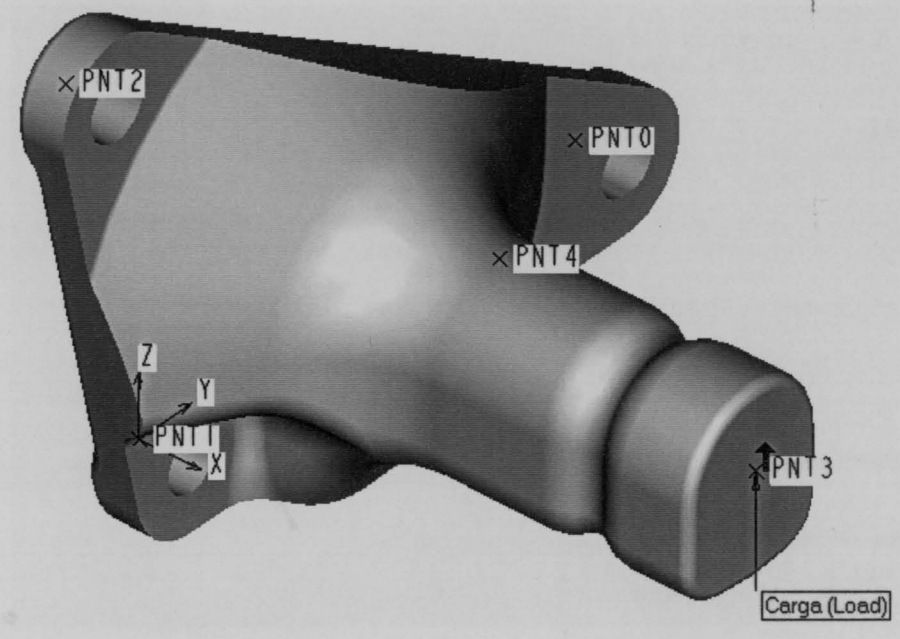


Figura 24 – Aplicação da carga num ponto

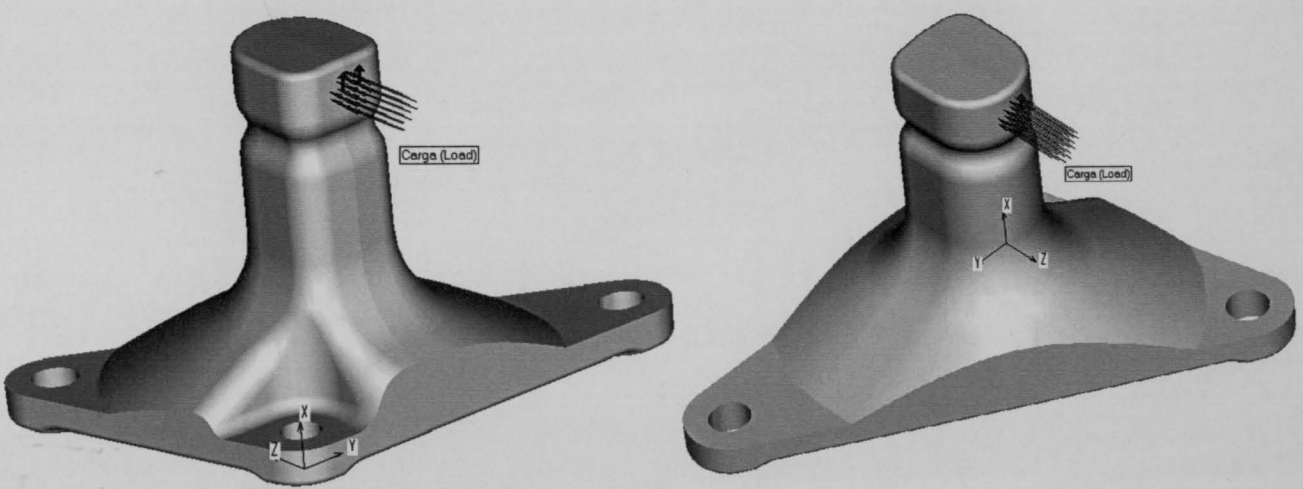


Figura 25 – Aplicação das cargas em secções circulares

Para além da definição das cargas no que se refere a valor, direcção, sentido e ponto de aplicação, foi necessário definir as restrições a aplicar, ou seja, as superfícies que terão o seu movimento condicionado. Para tal, foi necessário considerar pequenos acrescentos tubulares ao componente na zona da fixação da base, cujo objectivo era simular a espessura da parede do elemento onde a peça aparafusa e assim, garantir que as faces inferiores dos tubos não têm movimento, ao passo que, as faces inferiores da peça têm um pequeno movimento. Na Figura 26 é apresentada uma imagem do componente com os tubos já adicionados e uma indicação das faces com deslocamento nulo (faces a cor azul).

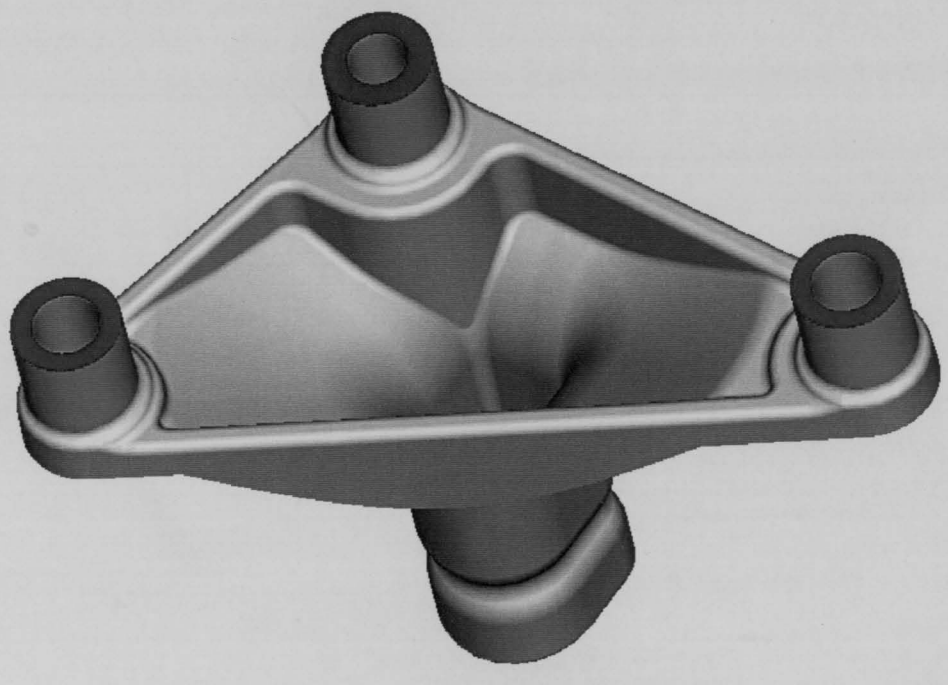


Figura 26 – Adição de elementos tubulares e indicação de faces restringidas

Torna-se importante salientar que no resultado das simulações, o aparecimento de zonas "vermelhas" (valor de tensão próximo ou superior a 200 MPa – valor da Tensão Limite Elástico da Liga de Alumínio em causa)) na transição dos elementos tubulares para a base da peça, não são tomadas em grande consideração, uma vez que se está a simular uma ligação rígida quando na realidade o que existe é o encosto entre a parede do motor e a base da peça.

BIBLIOTECA F.E. PORTO

8.1.2.1. 1ª Série de testes

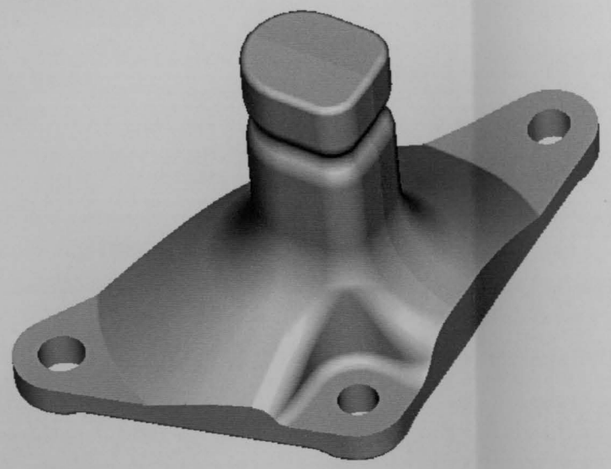


Figura 27 – Componente modelado (Fase I; Vista Cima)



Figura 28 – Componente modelado (Fase I; Vista Baixo)

O componente foi testado sem qualquer tipo de reforço e, tal como parecia espectável, a peça não resistiu às cargas aplicadas, uma vez que os valores máximos para a tensão equivalente rondavam os 400 MPa e teriam que ser inferiores a 200 MPa. Tornou-se notório que uma das zonas críticas do componente era a transição do pino para a base, uma vez que em qualquer um dos testes estas zonas são solicitadas alternadamente à tracção e à compressão. Para além desta, a periferia dos apoios também se apresentava como uma zona crítica. Assim sendo, rapidamente se tiraram conclusões que a peça deveria ser reforçada no seu interior com nervuras. Contudo, desde o início houve a tentativa de não colocar qualquer nervura no interior do pino para evitar o aparecimento de partes frágeis nos núcleos moldantes do interior do pino no molde permanente. Nas figuras 28 e 29 é possível ver a distribuição das tensões no componente para cada um dos casos.

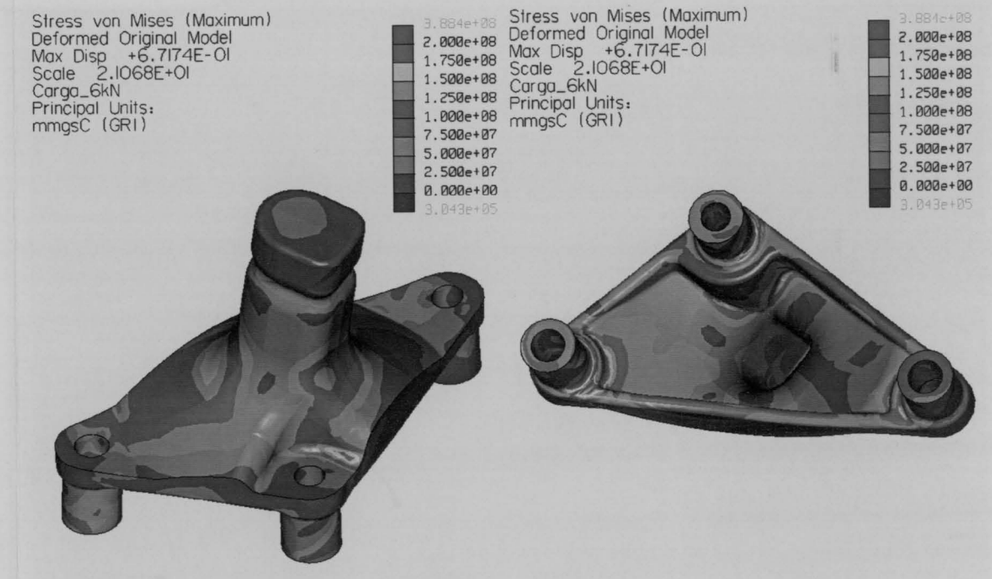


Figura 29 – Distribuição das tensões no componente (Fase I; Carga 6 kN)

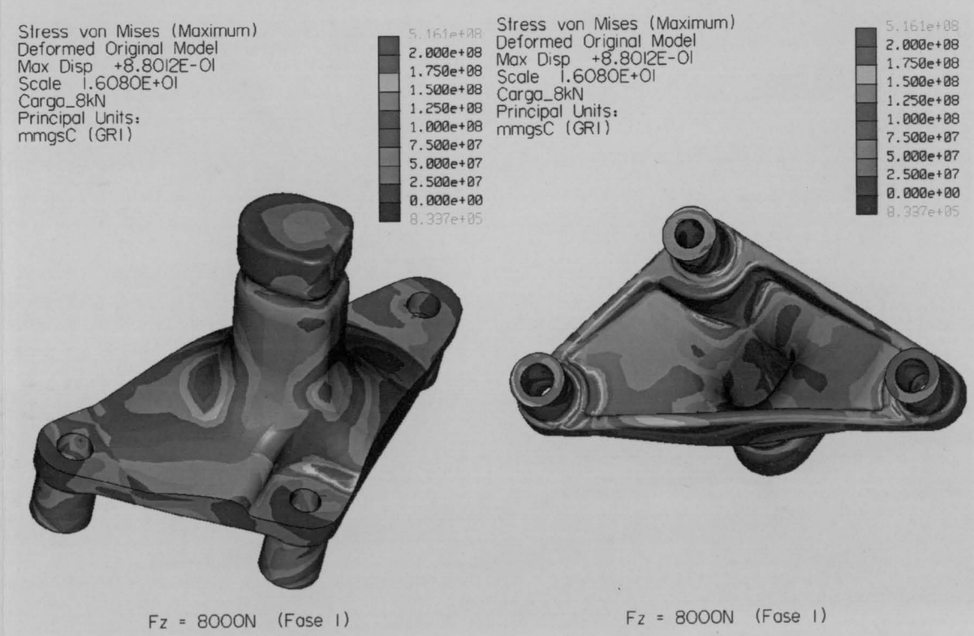


Figura 30 – Distribuição das tensões no componente (Fase I; Carga 8 kN)

8.1.2.2. 2ª Série de testes

Nas Figuras 31 e 32, apresentam-se imagens do componente com a nervura adicionada. A nervura foi colocada ligando um dos vértices da base à face oposta, de modo a limitar o deslocamento do corpo do pino aquando da aplicação das cargas. No entanto, a nervura não poderia estar muito próxima dos vértices, pois desta forma iriam acrescentar esforços de corte a esta zona.

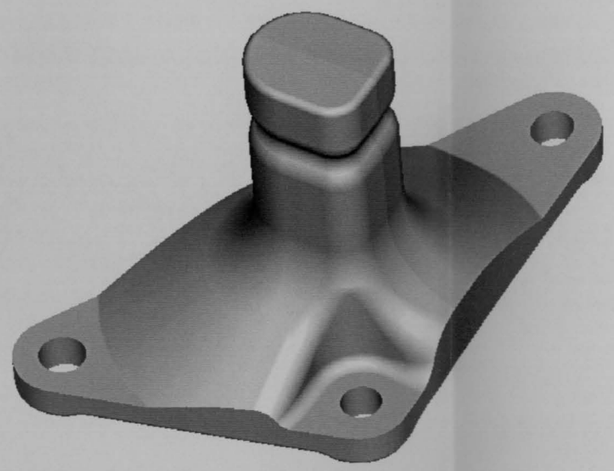


Figura 31 – Componente modelado (Fase II; Vista Cima)

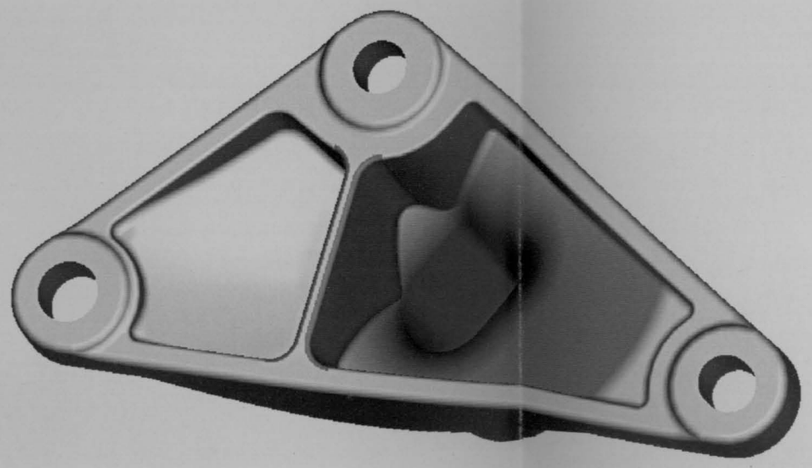


Figura 32 – Componente modelado (Fase II; Vista Baixo)

Tal como as figuras 33 e 34 podem comprovar, a distribuição dos esforços melhorou, tendo os valores de tensão, na zona de transição da base para o pino, diminuído satisfatoriamente. No entanto, continuaram a existir zonas onde os valores da tensão equivalente são superiores ao valor da tensão admissível.

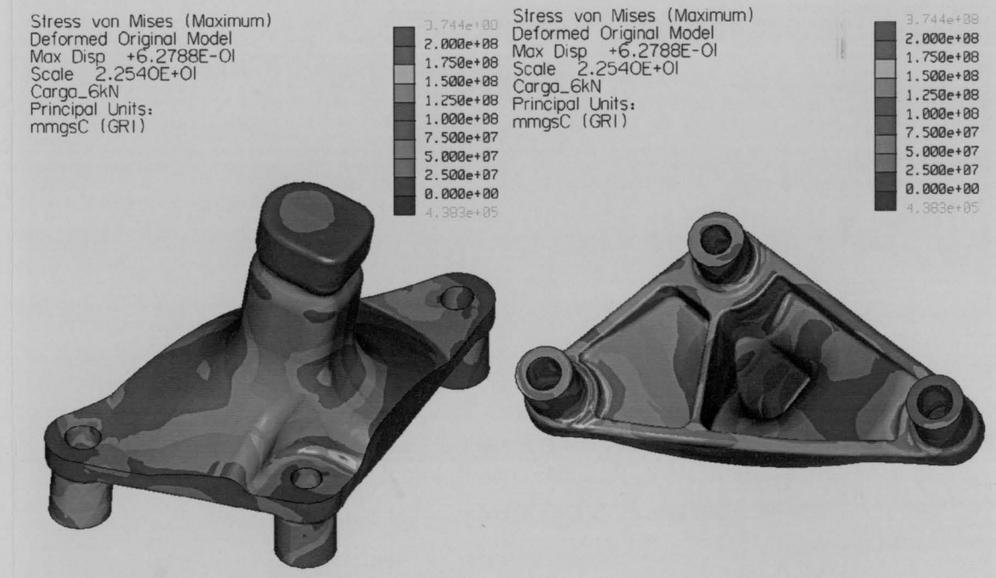


Figura 33 – Distribuição das tensões no componente (Fase II; Carga 6 kN)

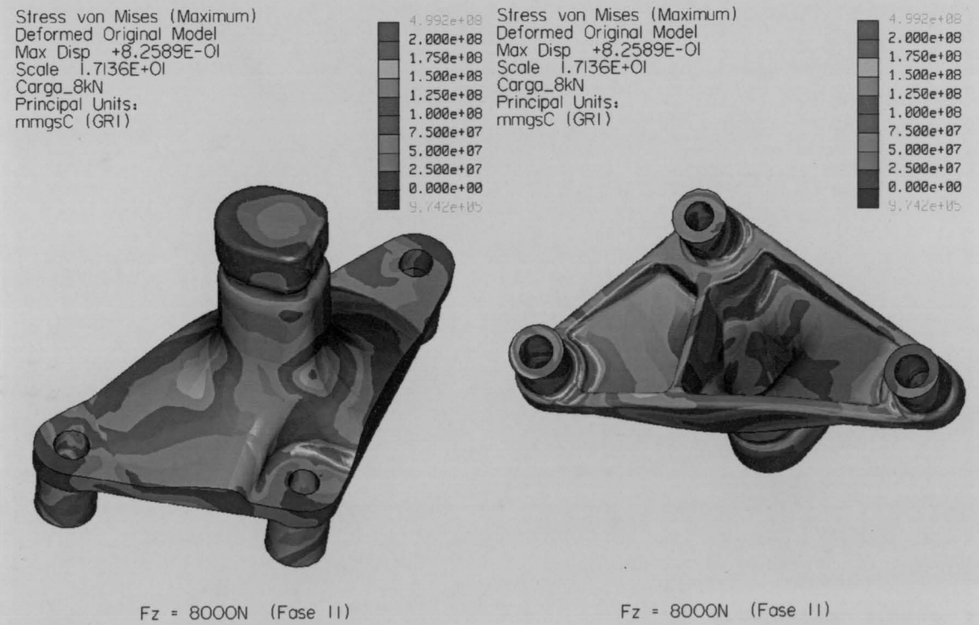


Figura 34 – Distribuição das tensões no componente (Fase II; Carga 8 kN)

8.1.2.3. 3ª Série de testes

Tendo em conta as duas últimas imagens, a distribuição das tensões é mais crítica junto ao furo **1**. Nessa medida, foi colocada uma nervura a ligar os dois vértices, de modo a limitar o deslocamento e diminuir as tensões nestas zonas da peça. Na Figura 36 é possível observar uma imagem da nervura colocada.

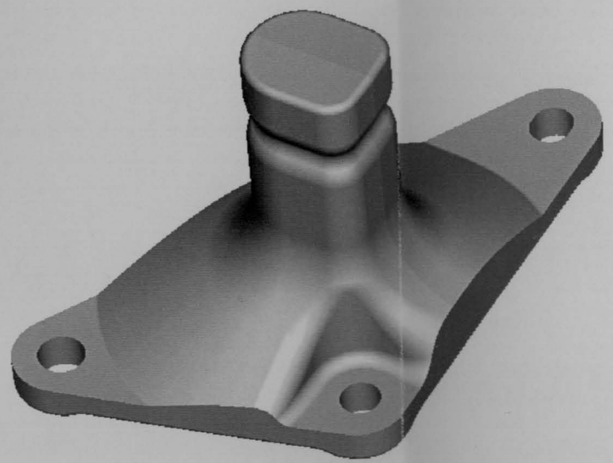


Figura 35 – Componente modelado (Fase III; Vista Cima)

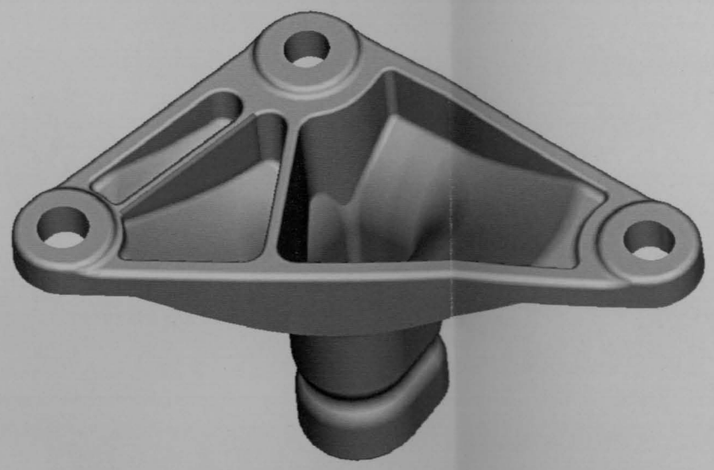


Figura 36 – Componente modelado (Fase III; Vista Baixo)

Com a adição desta nervura, de uma maneira geral, a distribuição das tensões sofreu algumas melhorias. Algumas das tensões anteriormente suportadas pela parede do componente, passaram a ser suportadas pela nervura adicionada.

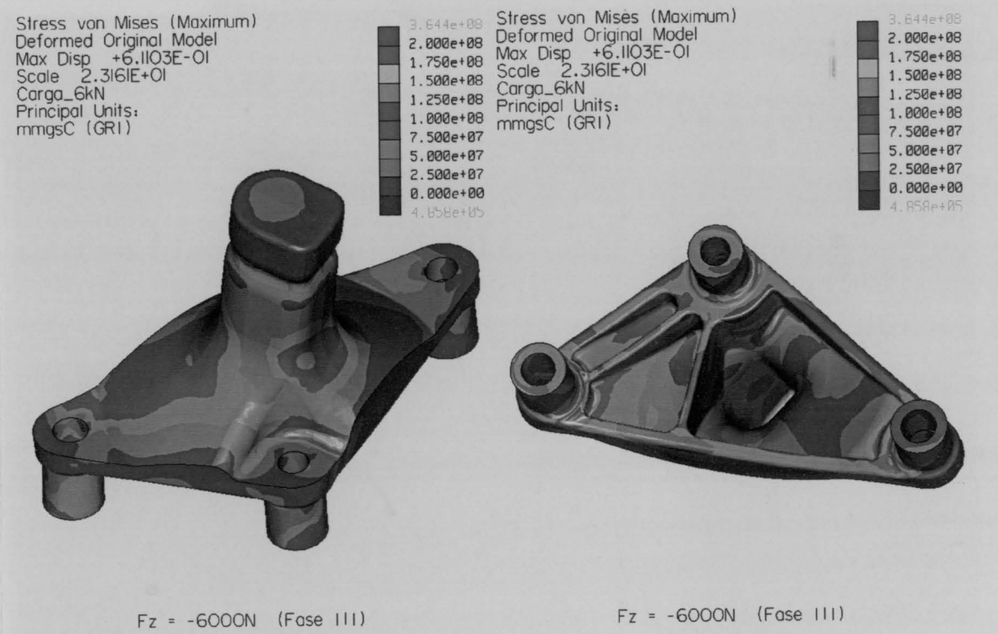


Figura 37 – Distribuição das tensões (Fase III; Carga 6 kN)

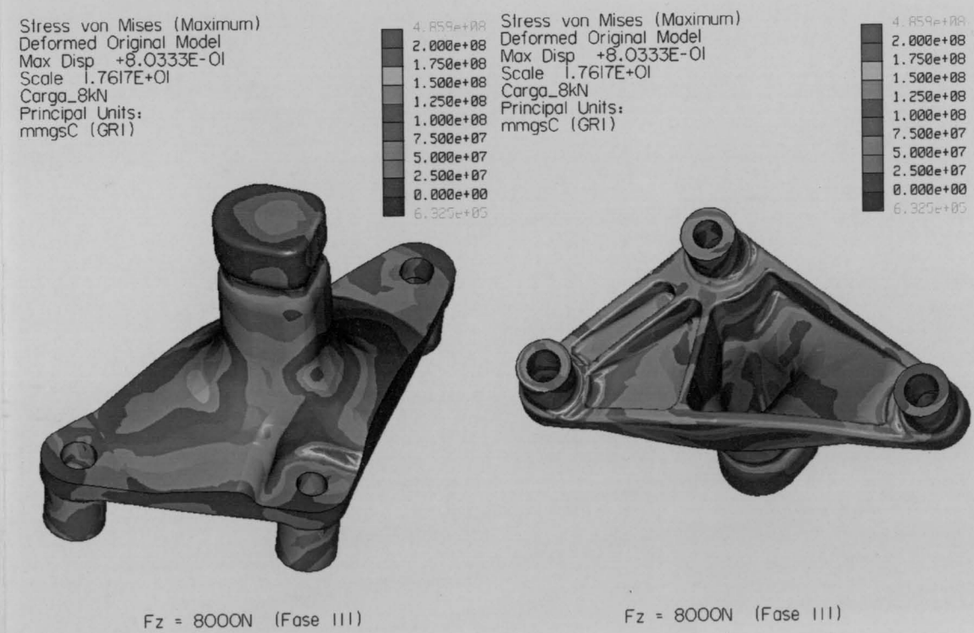


Figura 38 – Distribuição das tensões (Fase III; Carga 8 kN)

8.1.2.4. 4ª Série de testes

Com o objectivo de reduzir o deslocamento axial de qualquer uma das nervuras existentes, foi adicionada uma nervura que liga a parede da peça, à primeira nervura introduzida, sendo aproximadamente perpendicular à nervura introduzida na fase anterior. Na Figura 40 é possível observar uma imagem onde se mostra a nervura colocada.

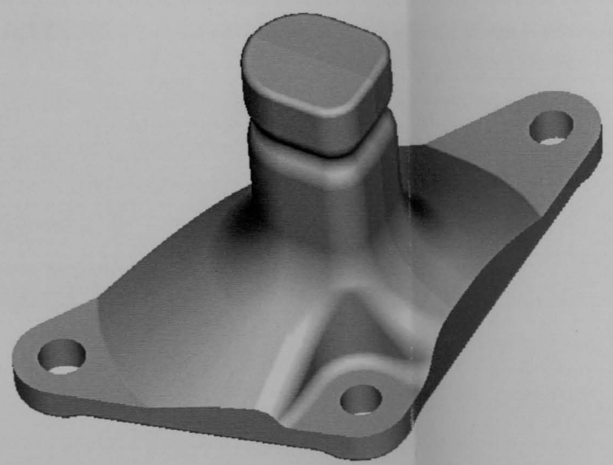


Figura 39 – Componente modelado (Fase IV; Vista Cima)

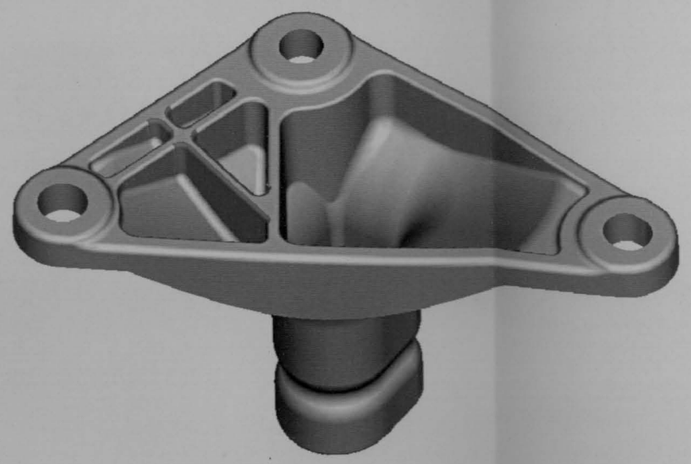


Figura 40 – Componente modelado (Fase V; Vista Baixo)

A colocação desta nervura permitiu uma melhoria geral na distribuição das tensões através da diminuição destes, comparativamente à fase anterior. Esta nervura passou a suportar parte dos esforços, suportados anteriormente pela nervura que lhe é aproximadamente perpendicular.

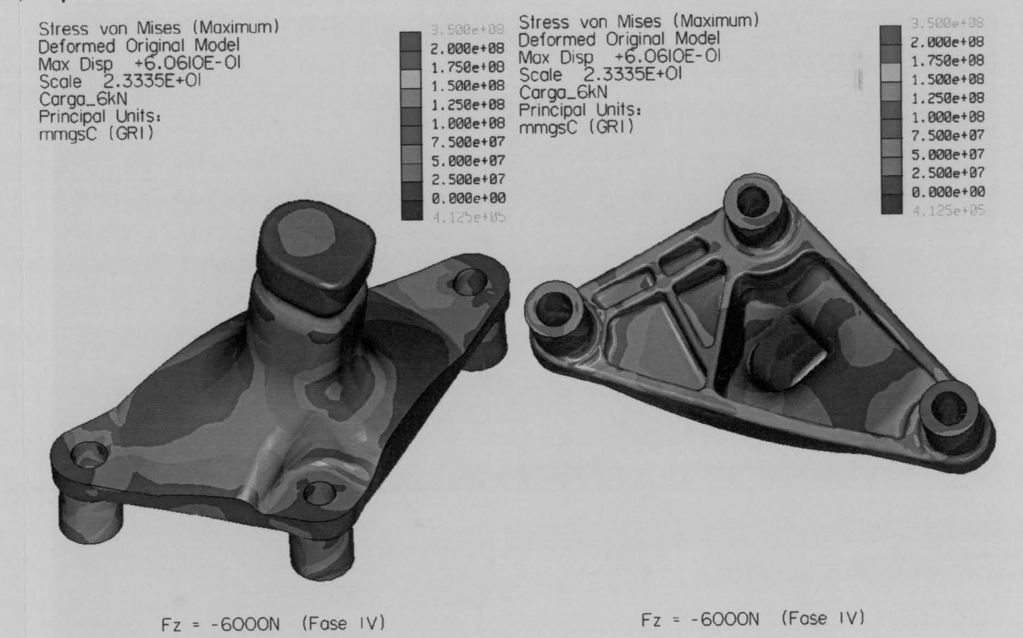


Figura 41 – Distribuição das tensões (Fase IV; Carga 6 kN)

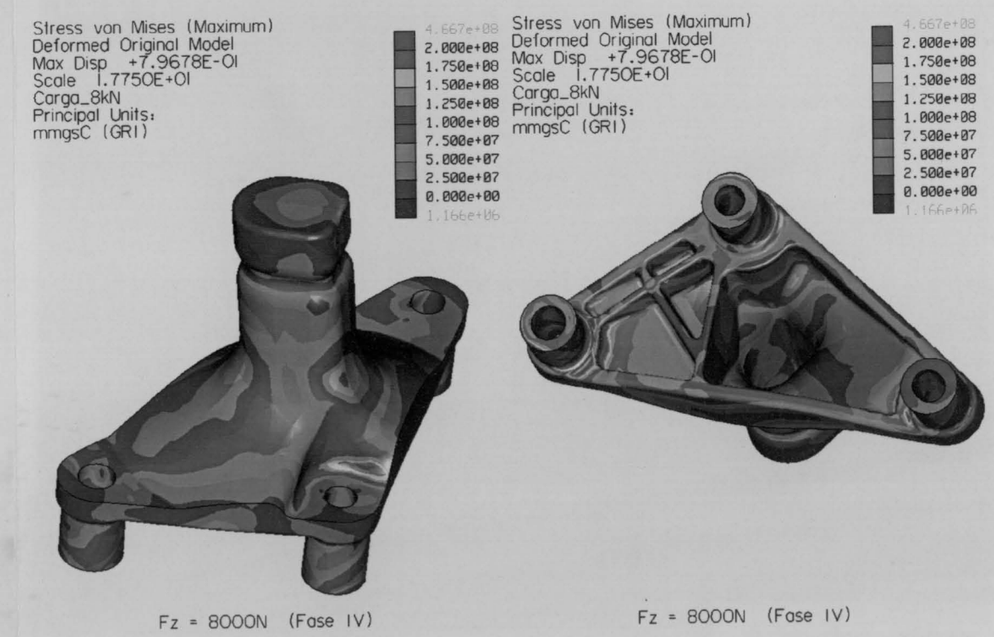


Figura 42 – Distribuição das tensões (Fase IV; Carga 8 kN)

8.1.2.5. 5ª Série de testes

Contudo, a colocação da nervura na fase anterior não se mostrou solução suficiente. Deste modo, criou-se uma nova nervura, paralela à anterior, de modo a limitar ainda mais o deslocamento axial das outras nervuras.



Figura 43 – Componente modelado (Fase V; Vista Cima)



Figura 44 – Componente modelado (Fase V; Vista Baixo)

Embora pouco perceptível nas imagens, a colocação desta nervura permitiu uma diminuição na distribuição das tensões nas faces superiores da peça.

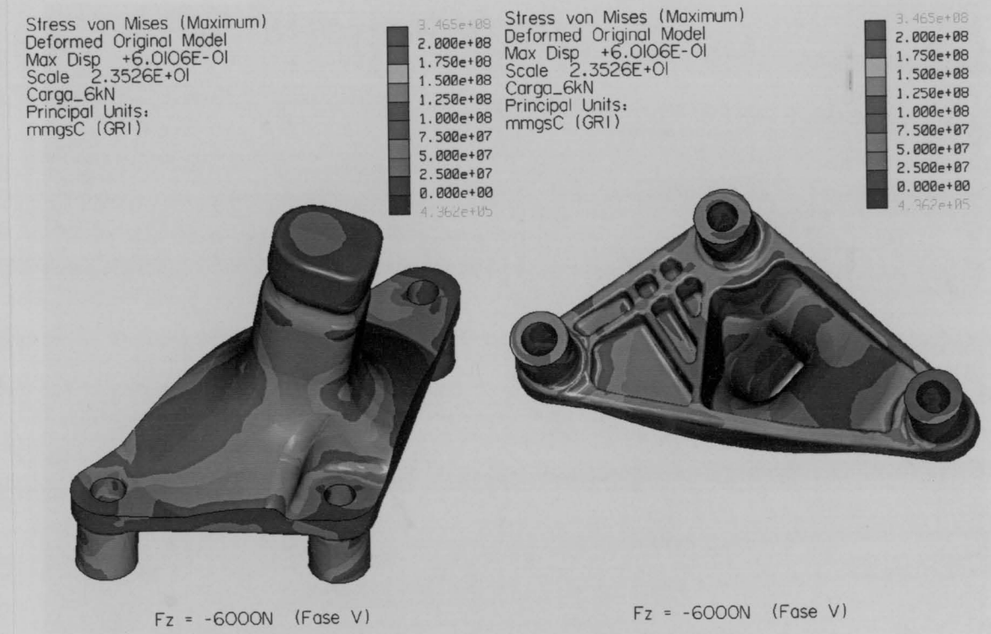


Figura 45 – Distribuição das tensões (Fase V; Carga 6 kN)

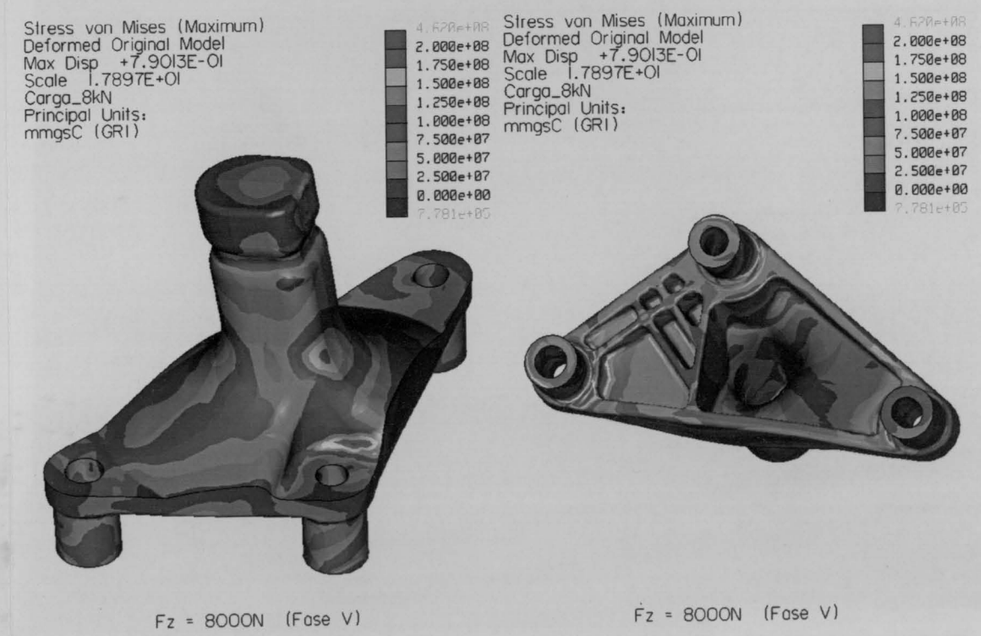


Figura 46 – Distribuição das tensões (Fase V; Carga 8 kN)

8.1.2.6. 6ª Série de testes

De modo a diminuir a concentração de tensões existentes na parte inferior da peça, junto ao furo **1**, foi feito um acrescento para que a zona de apoio aumente a sua robustez e assim incrementasse a sua resistência mecânica. Na Figura 48 é possível observar o acrescento referido.

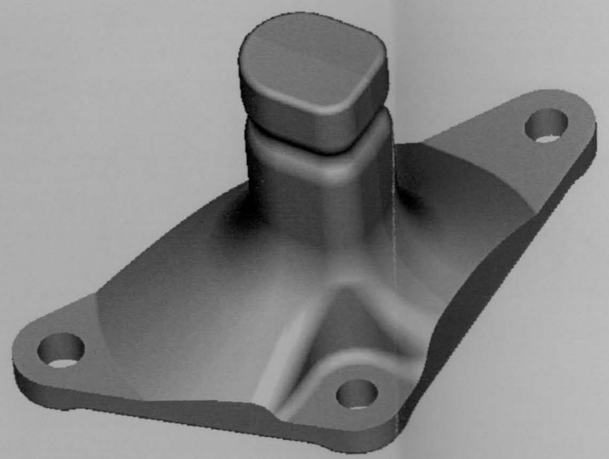


Figura 47 – Componente modelado (Fase VI; Vista Cima)

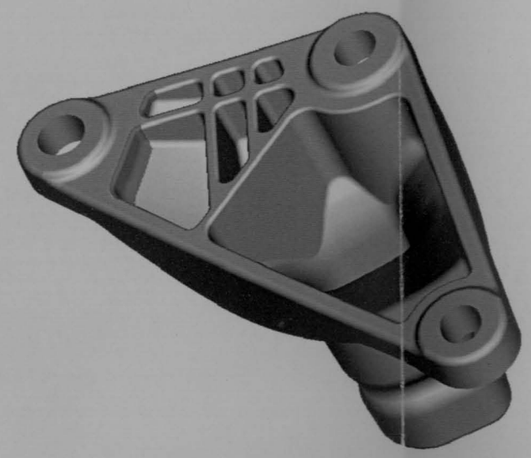


Figura 48 – Componente modelado (Fase VI; Vista Baixo)

O resultado do acrescento na zona de apoio foi satisfatório, como é possível observar nas Figuras 49 e 50. As zonas "vermelhas" passaram a "verde" o que significa uma diminuição na ordem dos 50 %.

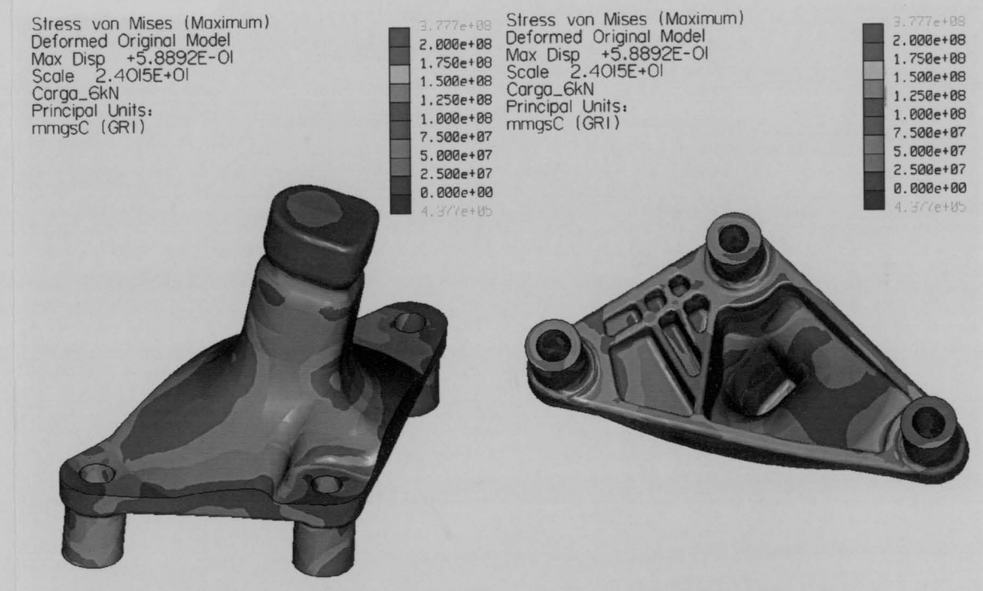


Figura 49 – Distribuição das tensões (Fase VI; Carga 6 kN)

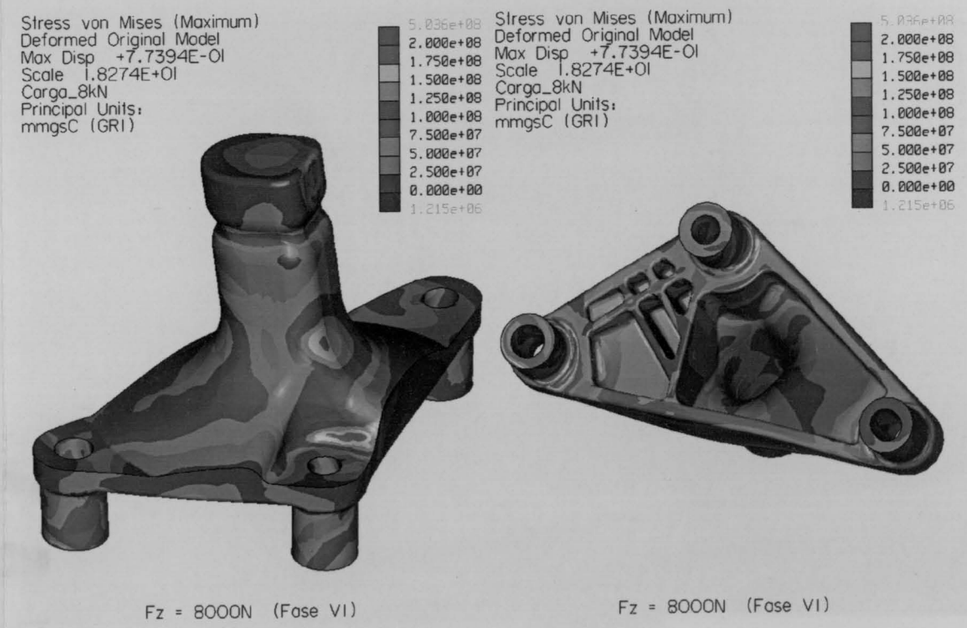


Figura 50 – Distribuição das tensões (Fase VI; Carga 8 kN)

8.1.2.7. 7ª Série de testes

Finalmente e após vários hipóteses simuladas, conclui-se que a alteração da orientação da nervura colocada na 3ª fase, traz resultados benéficos para distribuição de tensões nas zonas próximas aos furos **1** e **2**.

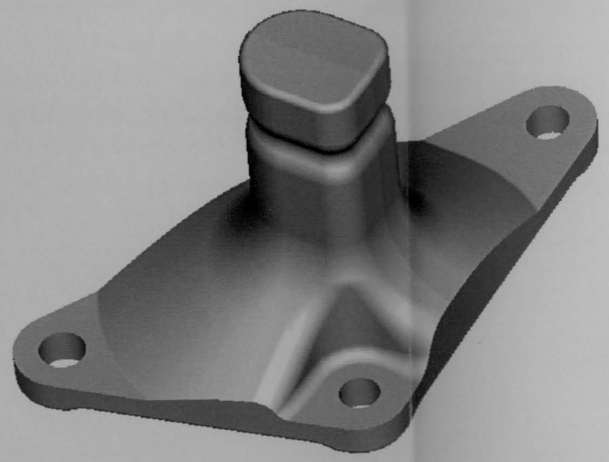


Figura 51 – Componente modelado (Fase VII; Vista Cima)

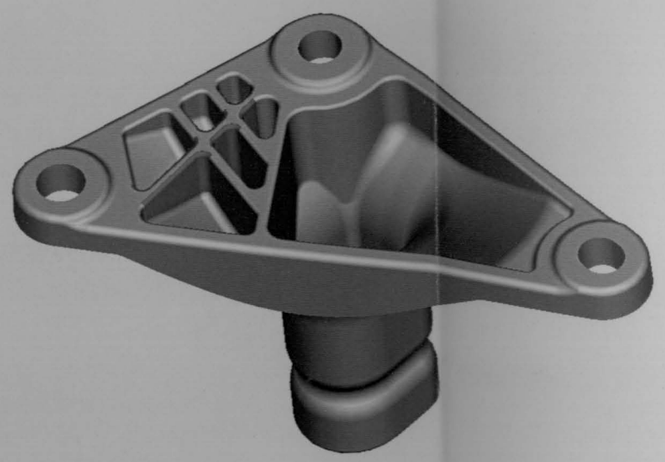


Figura 52 – Componente modelado (Fase VII; Vista Baixo)

Convém salientar que o aparecimento de zonas "a vermelho" no pino e junto ao furo **2**, na vista superior para a carga de 8 kN, têm valores próximos de 200 MPa. No entanto, e dado a serem pontos muito específicos, a simulação e o protótipo foram validados.

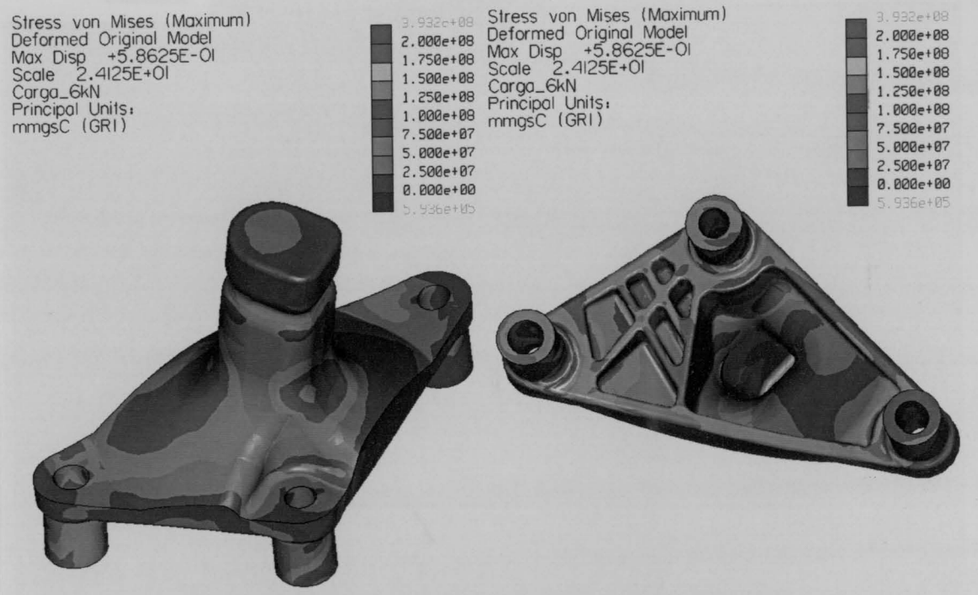


Figura 53 – Distribuição das tensões (Fase VII; Carga 6 kN)

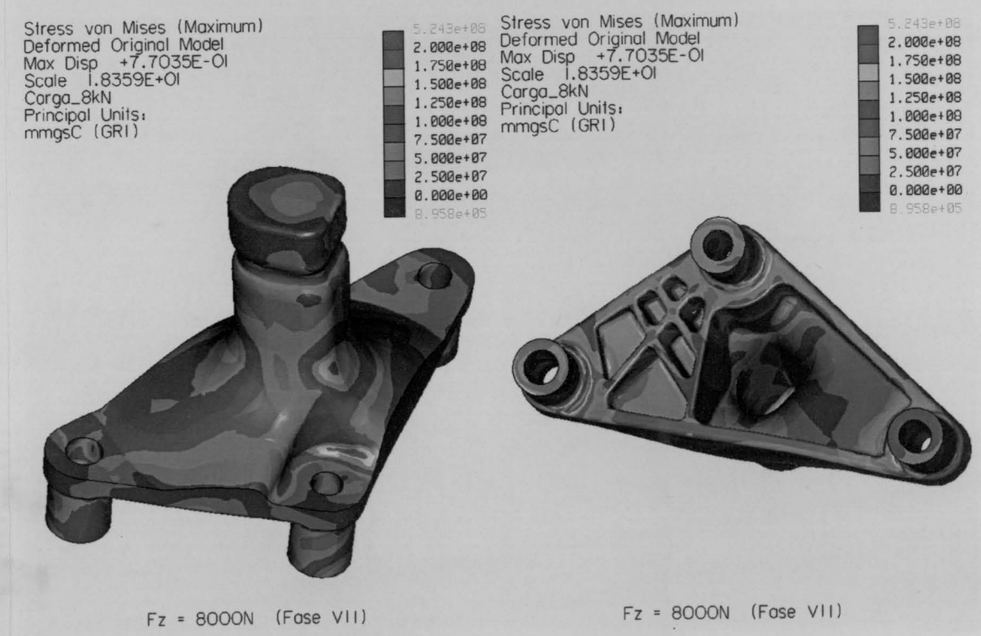


Figura 54 – Distribuição das tensões (Fase VII; Carga 8 kN)

Nas Figuras 55 e 56 apresentam-se duas imagens pormenorizadas das zonas "a vermelho" referidas, sendo indicado o valor máximo tensão em cada zona.

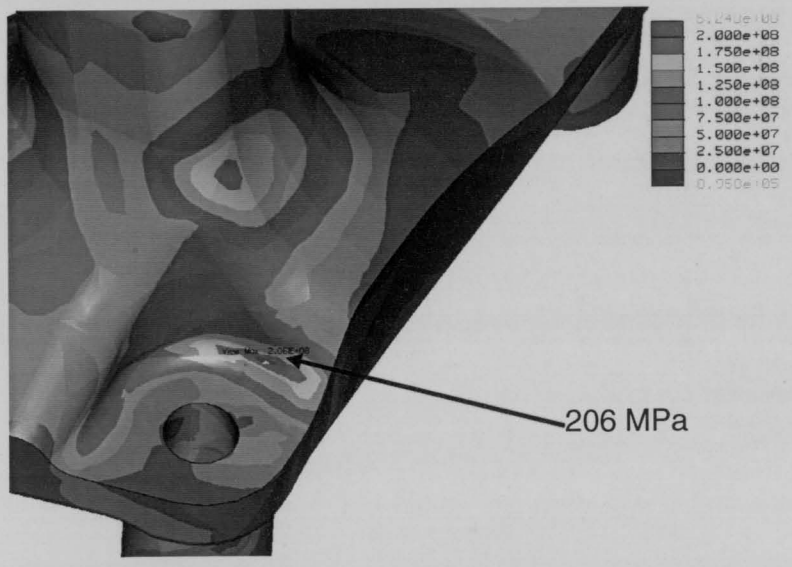


Figura 55 - Indicação do valor maximo na zona do furo

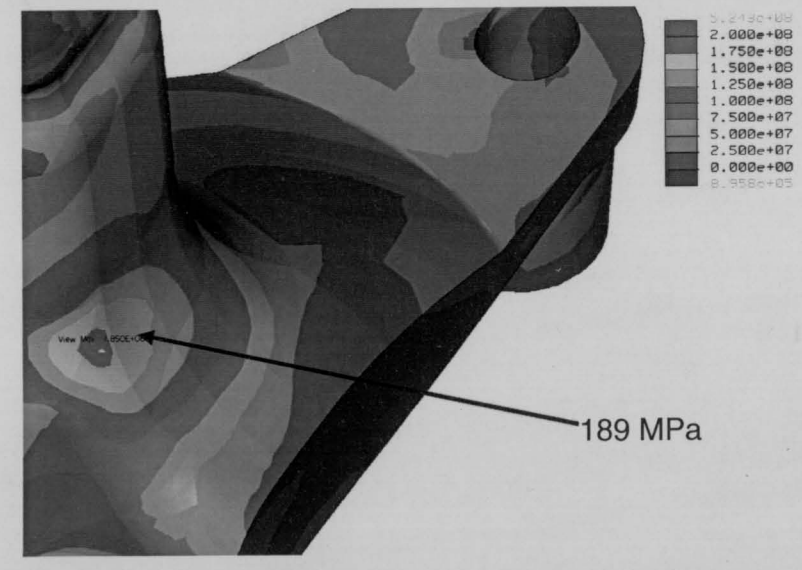


Figura 56 - Indicação do valor maximo na zona do pino

8.1.3. Definição do Molde

A modelação da peça não pode ser dissociada do conceito do molde, no que diz respeito ao número de cavidades, disposição da peça no molde, zona ou zonas de ataque e tudo o que diz respeito ao processo de execução da peça.

O molde, seguindo o conceito existente para a peça de referência X1, é constituído por 4 cavidades, dispostas simetricamente em relação ao eixo vertical, com a particularidade de a parte moldada pelo lado fixo nas peças do lado direito, ser moldada pelo lado móvel nas peças do lado esquerdo e vice-versa. Este conceito do molde é aplicado para que as gavetas que moldam a parte interior do componente fiquem situadas na zona periférica do molde (lado do operador e lado oposto ao operador) e assim não exista interferência entre elas.

Para indicação da linha de apartação e do sentido da moldação, são apresentadas, na Figura 57, duas imagens da peça, correspondendo às peças moldadas do lado esquerdo e lado direito respectivamente.

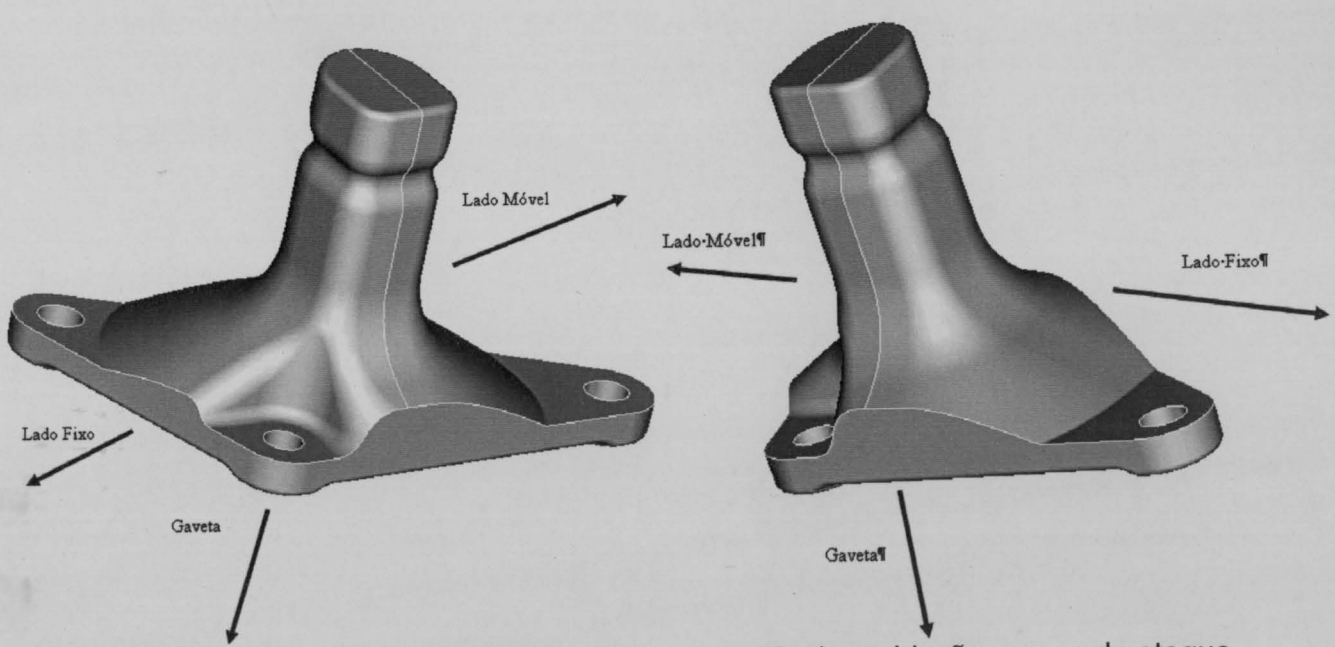


Figura 57 – Indicação da linha de apartação, sentido de moldação e zona do ataque

Com as três imagens que se seguem, pretende-se mostrar uma das várias potencialidades que o software de modelação (Pro Engineer ®) permite. Assim, é aqui analisada a inclinação das diferentes faces do modelo, numa perspectiva de correctamente avaliar a desmoldagem do componente face à definição feita para o molde permanente.. Esta ferramenta extremamente útil, permite a rápida detecção de zonas com contra-saídas e zonas da peça potencialmente problemáticas ao nível da desmoldagem.

À esquerda de cada uma das imagens, a legenda define a escala (cromática) em graus.

Nas Figuras 58 e 59, junto ao furo **2** encontra-se uma seta que não é mais do que a indicação do sentido de desmoldagem. Deste modo, podemos constatar que em ambos os casos, (parte moldada pelo lado fixo e parte moldada pelo lado móvel) os valores de saída são suficientes, ou seja, superiores a 1,5° no geral do lado em análise. As zonas mais críticas seriam as faces de topo de cada um dos furos que, por imposição do desenho têm que ter uma tolerância de planeza de 0,2 mm, implicando na atribuição de valores de saída da ordem dos 15', situação esta extrema mas ainda possível para a desmoldagem do componente.

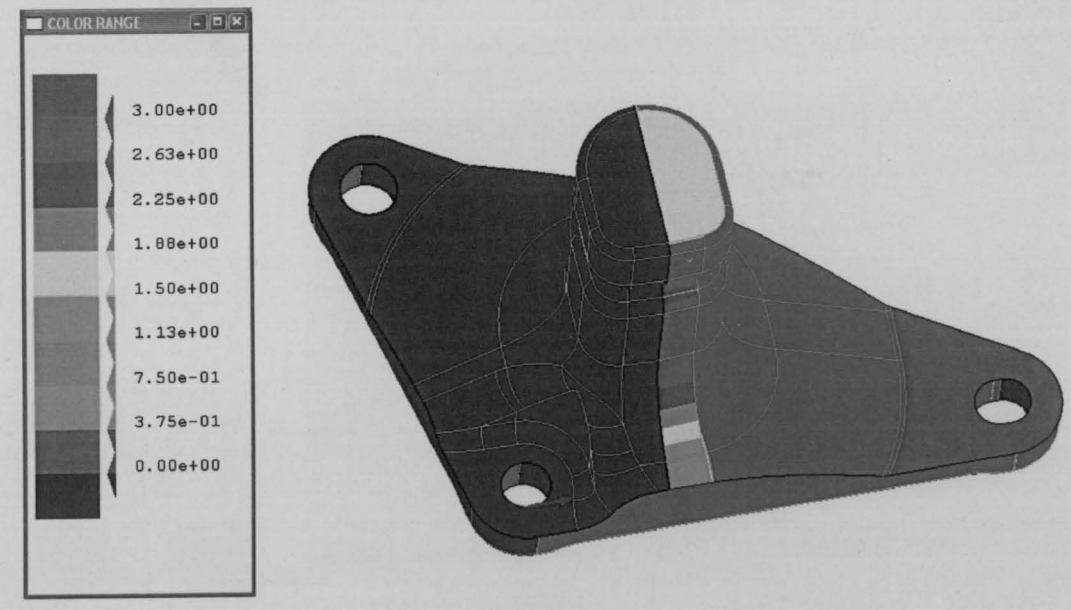


Figura 58 – Indicação da saída

BIBLIOTECA F.E. PORTO

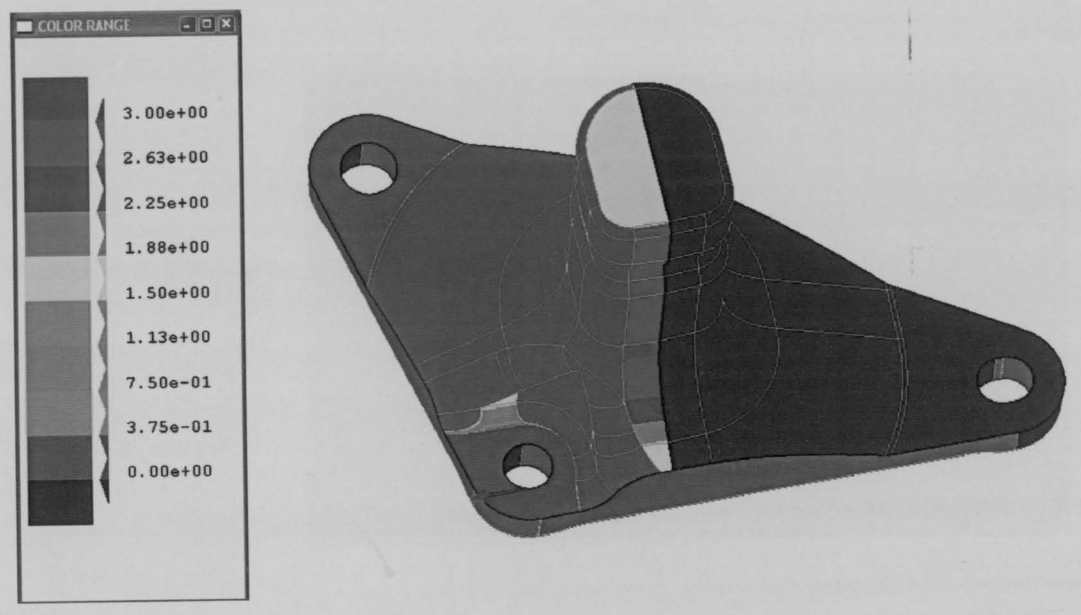


Figura 59 – Indicação da saída

Na Figura 60 apresenta-se uma imagem da inclinação das faces moldadas pela gaveta. Também aqui se pode comprovar que, à partida, não existem probabilidades de as peças ficarem não desmoldarem.

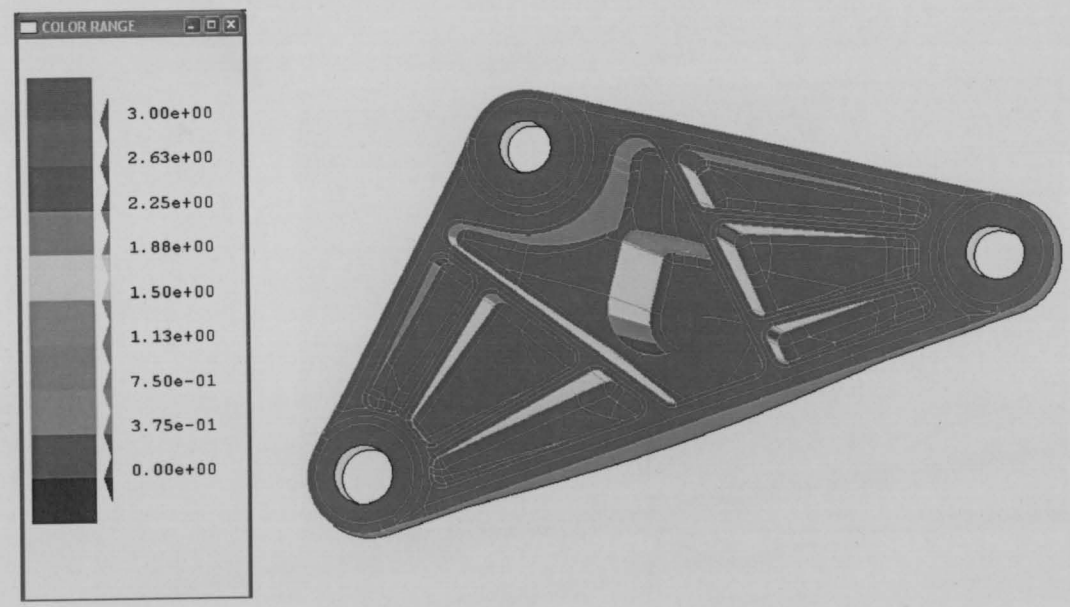


Figura 60 – Indicação da saída (Lado Gaveta)

Na Figura 61 é possível ver uma imagem aproximada daquilo que é o jito desta peça, com a disposição espacial das peças, canais, bolacha e masselotes.

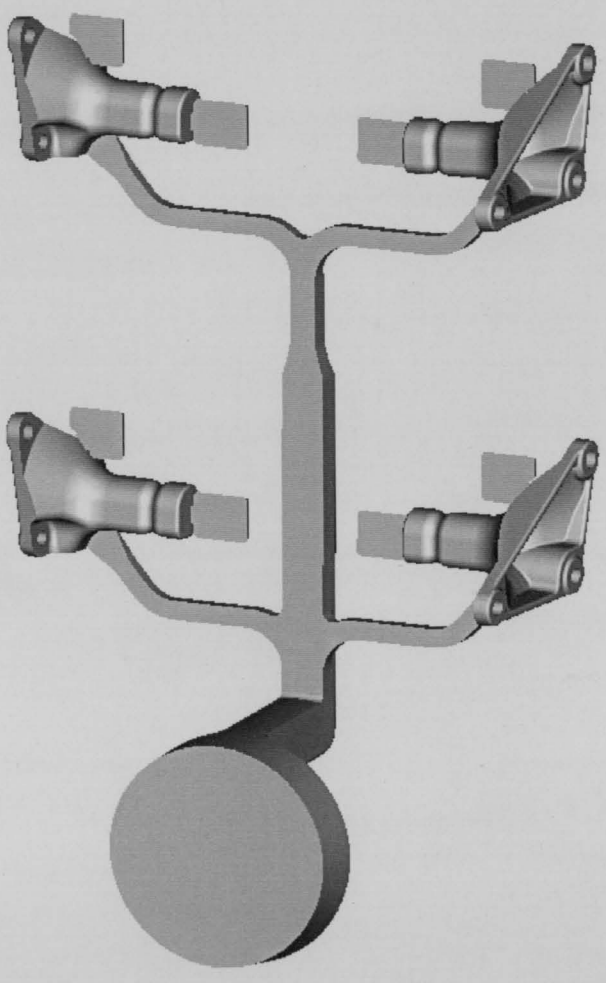


Figura 61 – Imagem aproximada do jito da peça

8.2. Prototipagem do componente (fundição em areia)

De entre os diferentes processos de execução de protótipos (SLS ou LOM para o protótipo e fundição em areia ou cera perdida para a sua reprodução), a escolha recaiu sobre a execução em SLS e reprodução em fundição em areia. Esta decisão foi tomada tendo em conta o custo de execução das ferramentas, assim como a compatibilidade dos meios existentes versus planeamento de projecto.

Para a prototipagem do componente em areia, foi necessário redefinir o topo do pino e os três furos, ao nível das sobreespessuras para posterior maquinação. A necessidade de maquinação surge dada a impossibilidade de cumprimento da especificação para a espessura da base nos pontos de fixação (devido à acuidade dimensional do processo de fundição em areia e ao plano de apartação situado a meia desta dimensão) e também para correcção de pequenos empenos que eventualmente surjam no processo de fundição em areia. Particularmente no topo do pino, a maquinação é necessária dada ser esta a zona de alimentação do protótipo.

Assim, no topo do pino, criou-se uma sobreespessura de 3 mm, enquanto os furos foram "tapados", tendo sido dada também uma sobreespessura de 3 mm nas castanhas da base da peça.

Criou-se uma outra peça com a forma negativa do interior do componente, para a execução do macho.

Em seguida, foi feito todo o tratamento informático de ambos os ficheiros, o do componente e o do macho, com vista a prepará-los para a sua execução em SLS. Neste tratamento foi multiplicada a respectiva volumetria por um coeficiente igual a 1,016 para compensar a contracção ocorrida durante o arrefecimento do componente em SLS e posteriormente no arrefecimento da liga.

Uma vez concluído o tratamento informático dos ficheiros, foram realizadas ambas as peças em SLS, cujo resultado se apresenta nas Figuras 62 e 63.

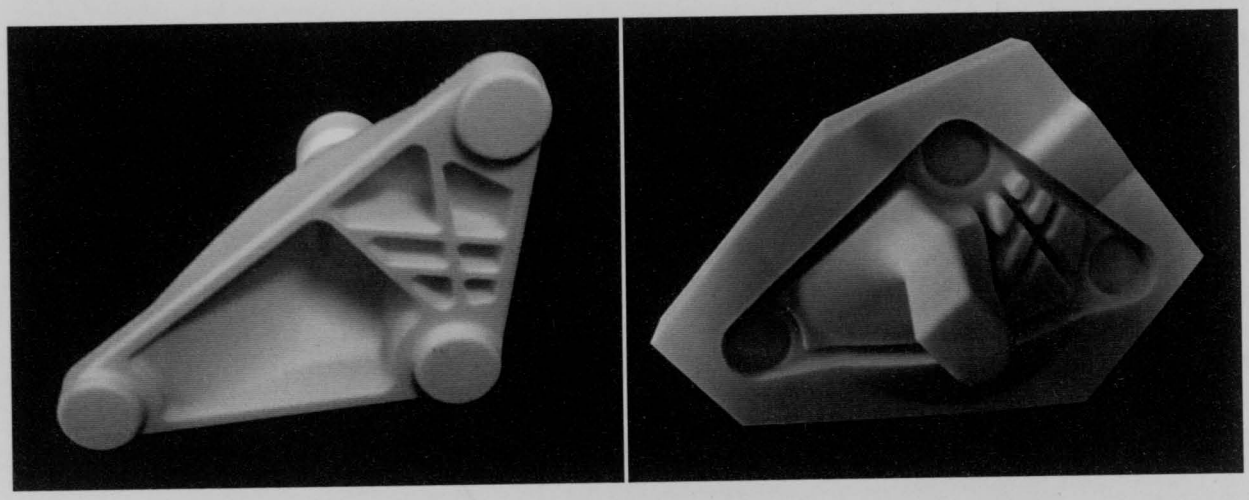


Figura 62 – Componente e macho em SLS

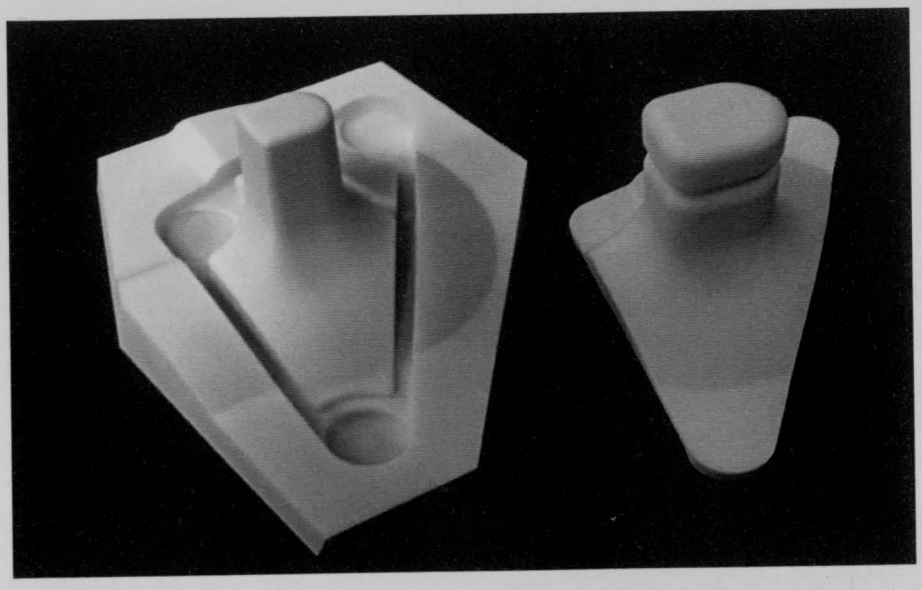


Figura 63 – Macho e Componente em SLS

Após a criação do componente e do respectivo macho em SLS, foi necessário definir a forma das ferramentas a construir. Deste modo, e tendo em conta tratar-se de uma pequena série de peças, assim como o tempo de execução das ferramentas ser mais pequeno, optou-se pela execução de um conjunto de machos, a partir das respectivas caixas de machos, em

detrimento da moldação em areia tradicional que recorre às caixas de moldação, como já foi descrito.

Para a execução das caixas de machos é necessário primeiro decidir o número de machos necessários para assim se definirem as linhas de apartação. Neste caso devido à existência de uma garganta no pino provoca que o pino não possa ser modelado por um só macho. Já o interior do componente, não apresenta qualquer tipo de contra-saídas e por isso pode ser modelado por um só macho.

O macho, juntamente com o componente são aparafusados a uma placa de madeira passando a existir uma referência horizontal do conjunto. Para definir o plano de apartação do pino e definir uma das faces do respectivo macho, colocou-se uma outra placa de madeira, recortando-a de forma a acompanhar o contorno do pino. Na Figuras 64 apresentam-se duas imagens que possibilitam uma fácil compreensão das referidas placas.

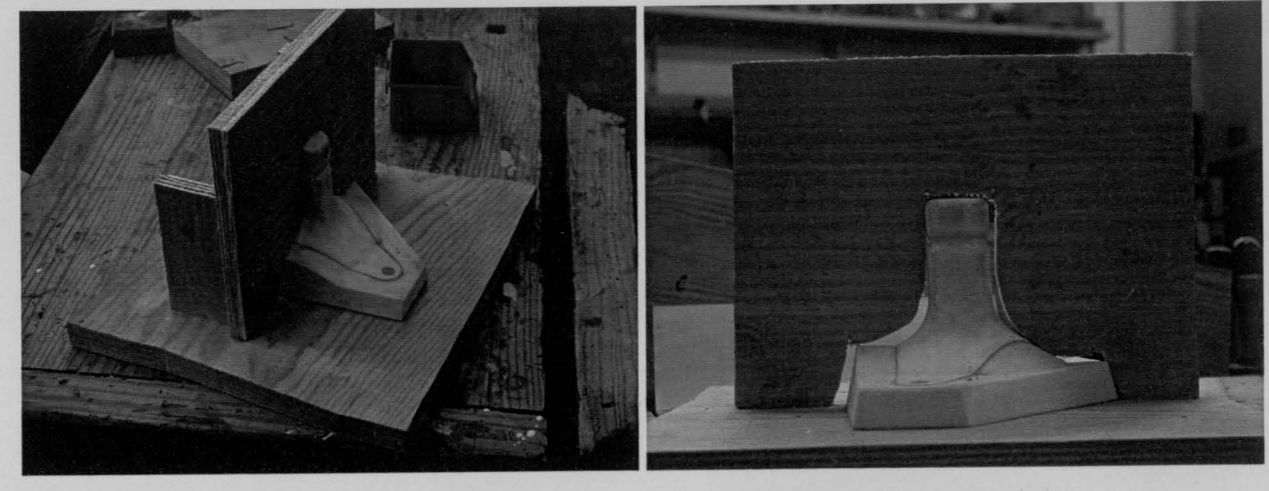


Figura 64 – Definição do plano de apartação do pino

De modo a garantir a total definição do plano de apartação é colocada uma massa que vai calafetar o espaço entre o componente e a placa de madeira. Após a colocação dessa massa, o conjunto fica com o aspecto que a Figura 65 demonstra.

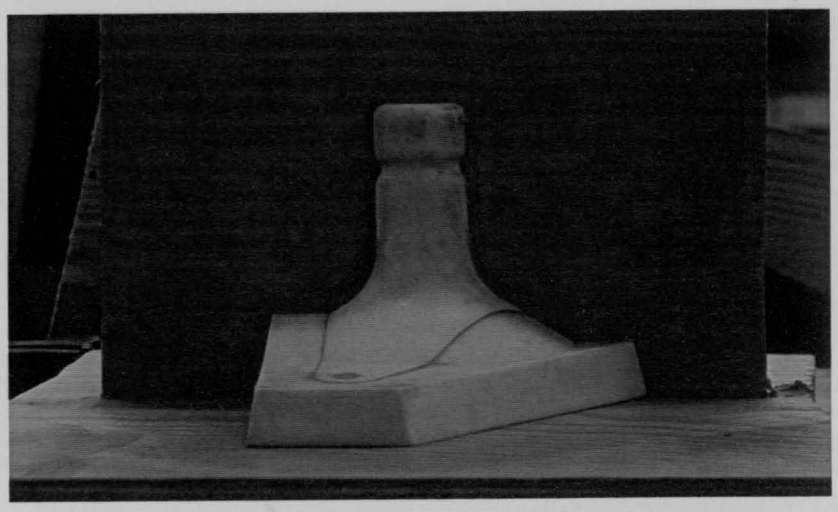


Figura 65 – Plano de apartação após calafetagem

Seguidamente construiu-se um bloco composto por várias placas de madeira, recortadas de forma a acompanharem a superfície do conjunto. No corte das placas é deixada uma pequena margem para o vazamento da resina que irá copiar a forma do componente.

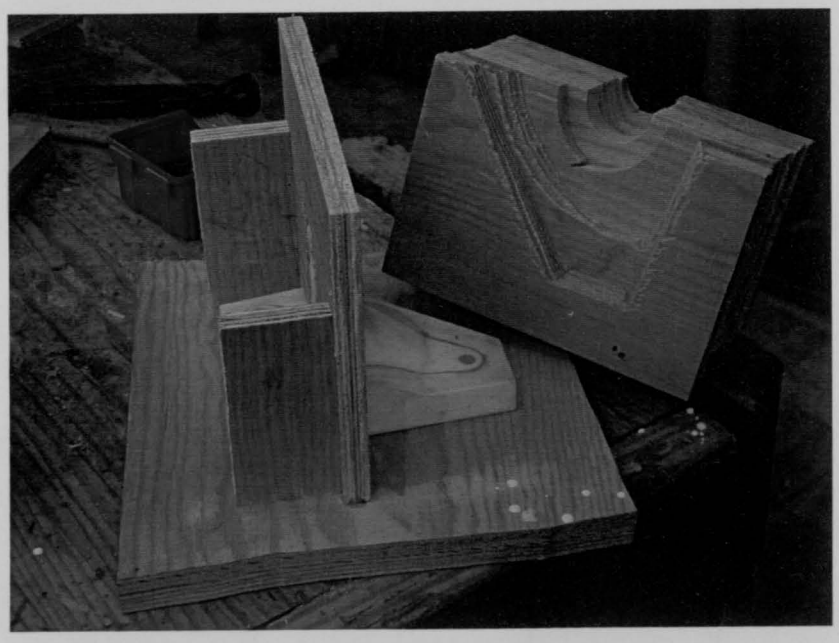


Figura 66 – Definição de um dos negativos do conjunto

Após a cura e solidificação da resina passamos a ter um bloco com a forma negativa da peça. Na Figura 67 apresenta-se uma imagem do bloco obtido.

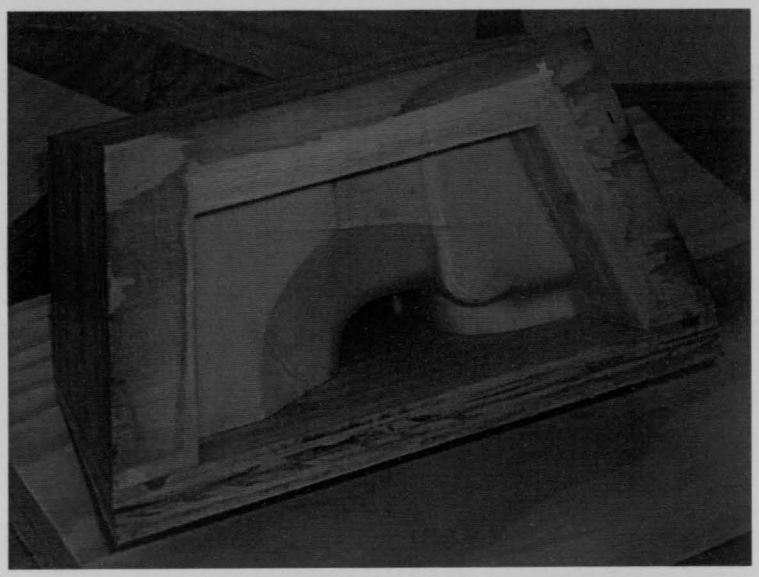


Figura 67 – Imagem de um negativo

O processo de execução do negativo da parte complementar do pino é em tudo idêntico. Na Figura 68 é possível observar uma imagem de ambos os negativos criados.

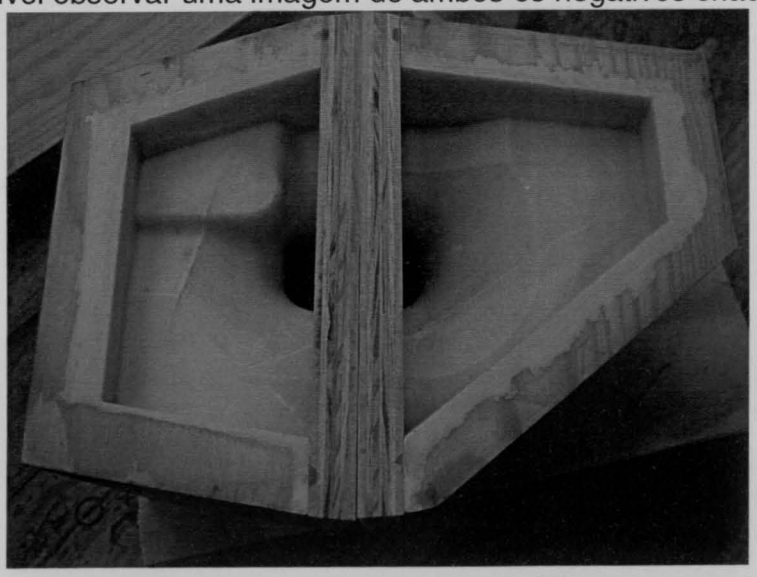


Figura 68 – Negativos da parte superior do componente X3

Para a execução do positivo do macho criado em SLS, o procedimento é exactamente o mesmo.

Uma vez criados os negativos da parte superior do componente X3, o processo inverte-se já que o objectivo agora é obter os positivos destes elementos antes criados. Os positivos não são mais do que a parte do componente que é modelada por cada macho, só que assente numa estrutura diferente.

É criada uma estrutura em madeira em volta de cada negativo, com a particularidade de ser colocada uma placa de madeira a definir o plano de apartação. O conjunto é preparado e então vaza-se a resina. Na Figura 69 apresentam-se duas imagens do vazamento da resina para a criação de um positivo.



Figura 69 – Vazamento da resina

Após a cura e o arrefecimento da resina em ambos os casos, as caixas podem ser desmoldadas e o negativo retirado. Seguidamente são dados os últimos retoques ao nível de carpintaria, como por exemplo, lixar as arestas exteriores do bloco para eliminar possíveis rebarbas soltas para que as futuras utilizações sejam feitas em segurança.

Na Figura 70 é possível observar uma imagem das três caixas de machos criadas.

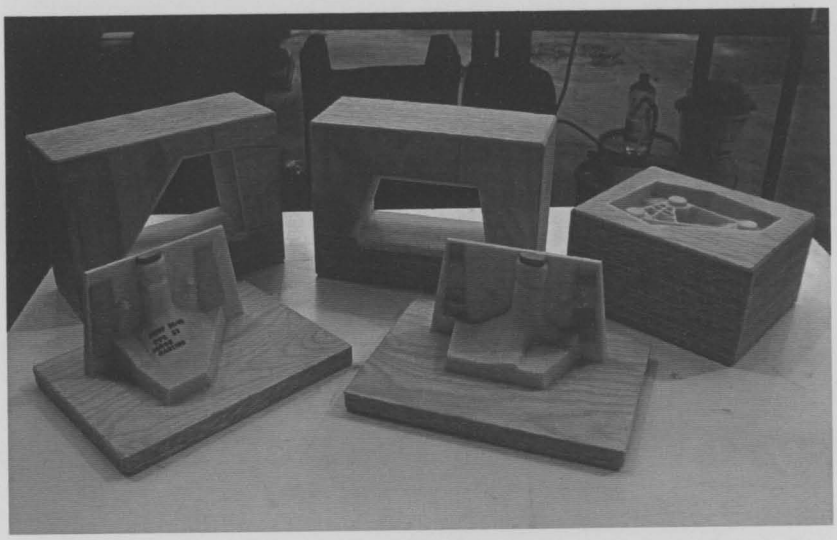


Figura 70 – Caixas de machos

Com as caixas de machos criadas, o passo seguinte é a execução dos respectivos machos. O processo de criação de um macho pode ser feito de modo manual ou com recurso a maquinaria. Neste caso específico, o método utilizado foi o manual e compreende as seguintes etapas:

- Aplicação de um pó desmoldante em toda a superfície que estará em contacto com a areia, retirando o excesso;
- Preparação da areia, fazendo uma mistura homogénea de areia de sílica com um aglomerante (silicato de sódio). A quantidade de areia a preparar não ser mais do que a necessária, uma vez que, quando em contacto com o ar, desencadeia uma reacção tornando-a mais dura e inutilizável.
- Projecção da areia para o interior da caixa de machos;
- Compactação manual da areia;
- Nivelamento da face de topo do macho, retirando a areia excedentária;
- Abertura de furos com auxílio de uma haste, para permitir uma secagem mais eficiente;
- Abatimento do macho através de umas pancadas dadas com um maço;

- Secagem do macho através de CO2;
- Desmoldagem.

Nas Figuras 71, 72 e 73 apresentam-se imagens de diferentes estados da execução dos machos.



Figura 71 – Projecção e Compactação da areia no interior da caixa de machos

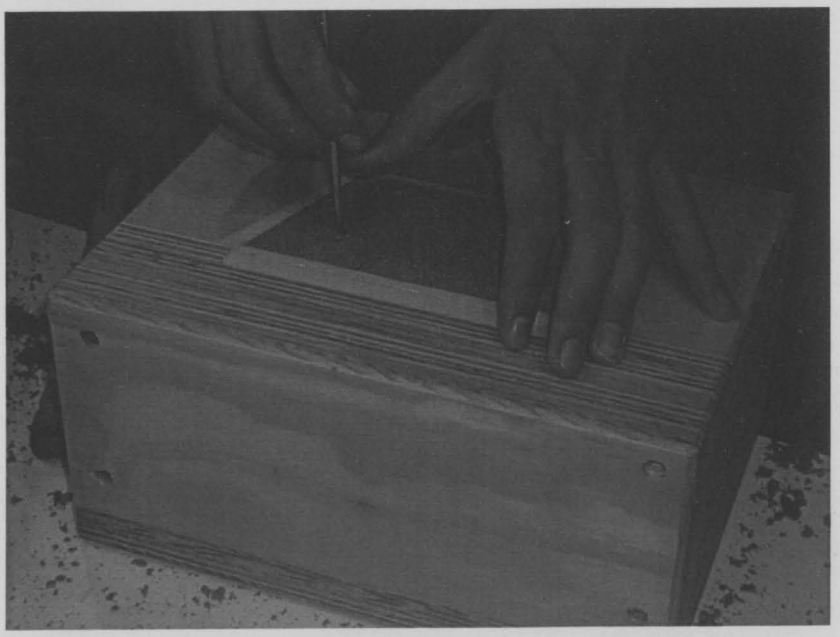


Figura 72 – Abertura de furos para facilitar a secagem

BIBLIOTECA F.E. PORTO

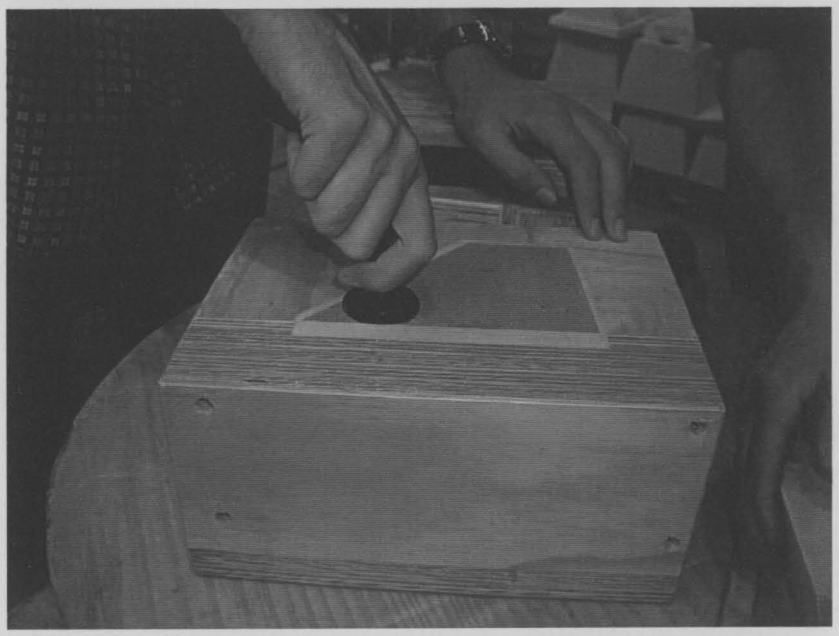


Figura 73 – Secagem do macho com $C0_2$

Finalmente, na Figura 74 apresenta-se uma imagem dos machos e respectivas caixas.



Figura 74 – Machos e respectivas caixas de machos

Terminada a criação de todos os machos, procede-se a sua preparação para posterior vazamento. Para tal, é necessário submeter o macho que irá moldar o interior do componente X3, a uma chama de maçarico a fim de queimar todos os gases existentes no interior do pino, para garantir que durante o vazamento não existem gases a libertarem-se porque podem inutilizar o componente. O processo de combustão dos gases é possível observar na Figura 75.



Figura 75 – Combustão de gases existente no pino do macho

Em seguida, constrói-se o conjunto composto pelos vários machos que criam assim, a cavidade moldante. Para a fixação dos machos são utilizados grampos que tentam evitar que o alumínio, quando vazado, de escape por entre espaços mal vedados. Caso exista suspeita de alguma zona que não estar a vedar completamente, aplica-se uma cola própria para fundição em areia nas superfícies em contacto, a fim de se tentar vedar estas zonas.

Com as Figuras 76 e 77 pretende-se apresentar imagens elucidativas da sequência de montagem dos machos.

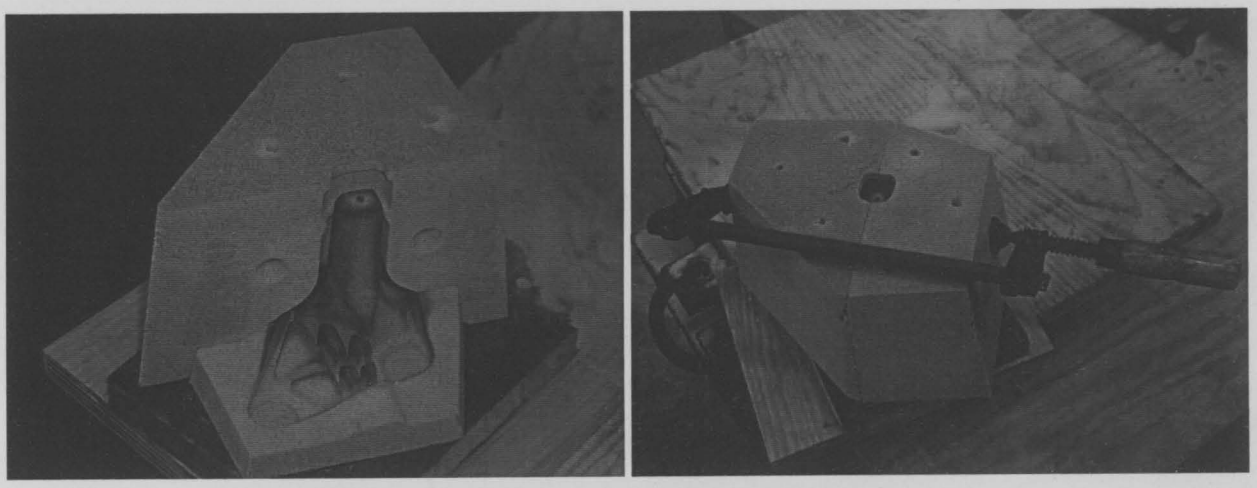


Figura 76 – Sequência de montagem dos machos

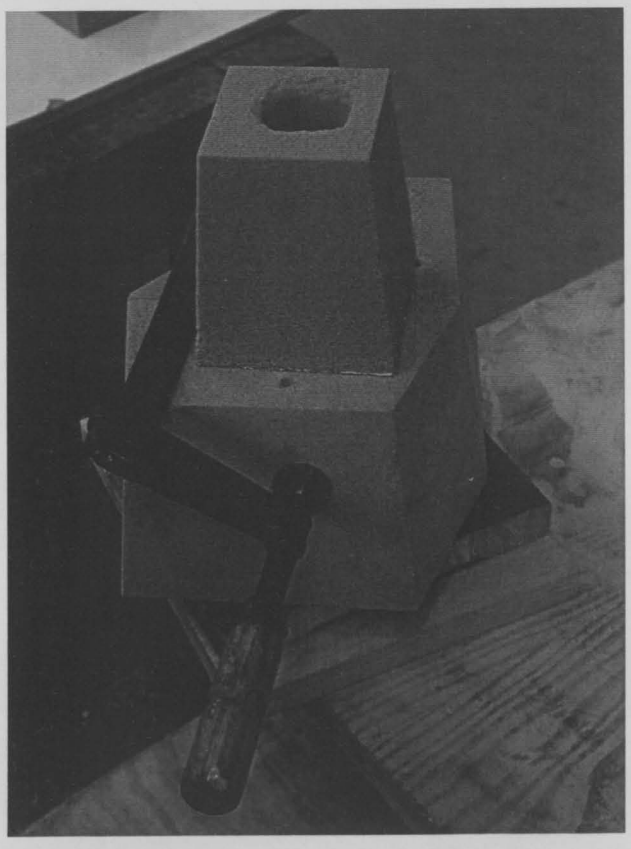


Figura 77 – Moldação completa

As moldações são todas colocadas de forma ser vazada a liga (ver figura 78).

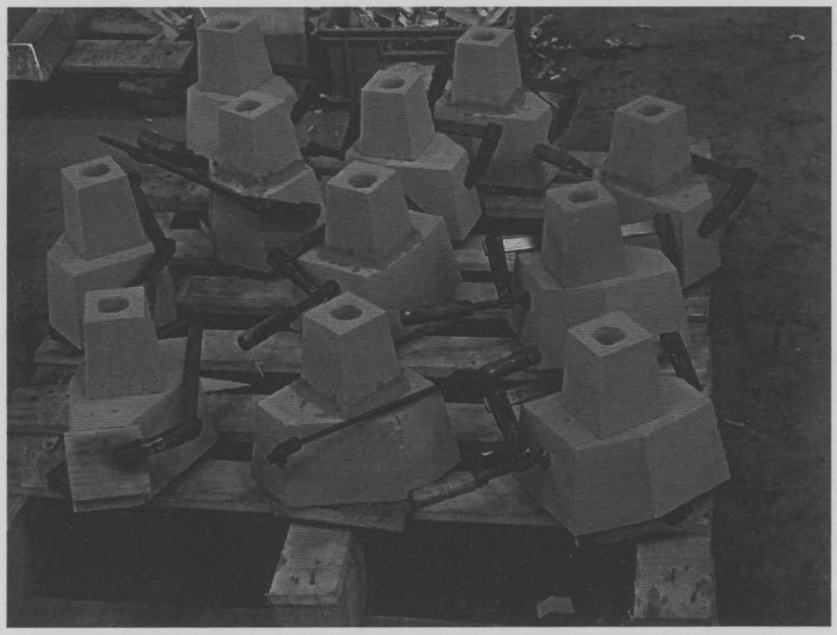


Figura 78 – Disposição das moldações para vazamento

E finalmente é feito o vazamento da liga de alumínio, como se pode ver na Figura 79.

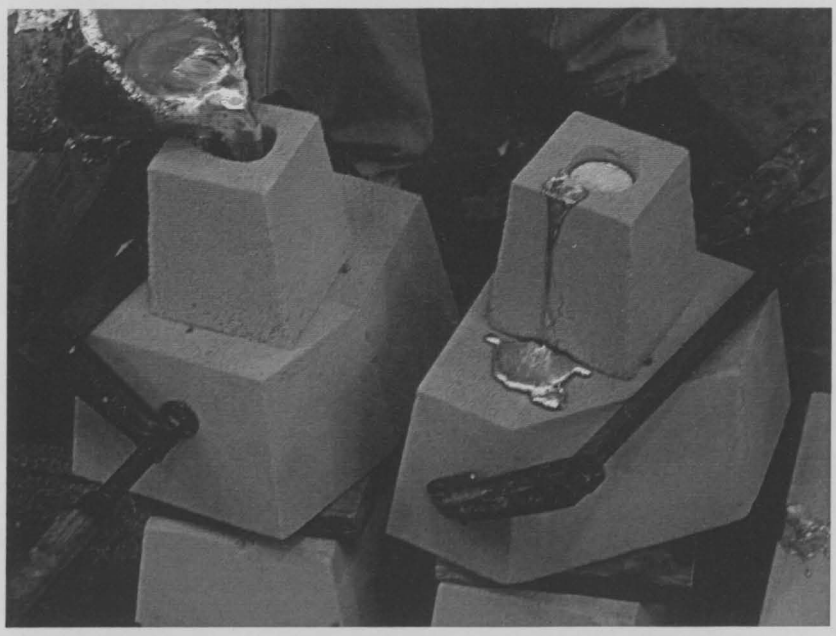


Figura 79 – Vazamento da liga de alumínio

Após o arrefecimento e solidificação da liga, a moldação é partida, com auxílio de um martelo. A areia é separada para que possa ser reciclada e novamente utilizada, enquanto o jito é limpo de todas as areias que lhe ficam presas. Depois, é cortado o canal de alimentação e as rebarbas, caso existam.

Na Figura 80 apresentam-se uma imagem do componente, onde é possível ver o jito logo após a quebra da moldação



Figura 80 – Jito completo

Depois, as peças são vibradas por cones cerâmicos para eliminar algum tipo de rebarbas de mais difícil acesso, a seguir são rebarbadas, através de uma lixadeira paralela, para serem retiradas as rebarbas normalmente existente na linha de apartação e finalmente são granalhadas, para lhes dar um melhor acabamento final.

Na Figura 81 apresenta-se uma imagem do componente X3 depois de vibrado, rebarbado e granalhado.



Figura 81 – Componente X3 depois de vibrado, rebarbado e granalhado

Após a granalhagem das peças, procede-se à maquinação do topo do pino e dos furos, sendo retirado o excesso e abertos os respectivos furos.

A operação de maquinação do componente é executada em duas fases. Na primeira, a peça é colocada sobre o gabarito específico, com o pino voltado para baixo e assente pelas faces onde encostam as cabeças dos parafusos de fixação, sendo apertada com o auxílio de um grampo. É executada a fresagem das faces de apoio das castanhas de modo a garantir a cota de 10±0,5mm (ver desenho B). Na mesma operação são ainda criados os furos de fixação. Terminada esta operação, a peça é retirada e colocada ao contrário, com o pino voltado para cima. O seu assentamento é feito pelas faces fresadas na operação anterior e fixa com recurso a pinças de aperto. Procede-se então à fresagem do topo do pino, de modo a garantir a cota da altura no valor de 96,9±0,2mm.

Na Figura 82 são mostradas duas imagens das operações de maquinação do componente.

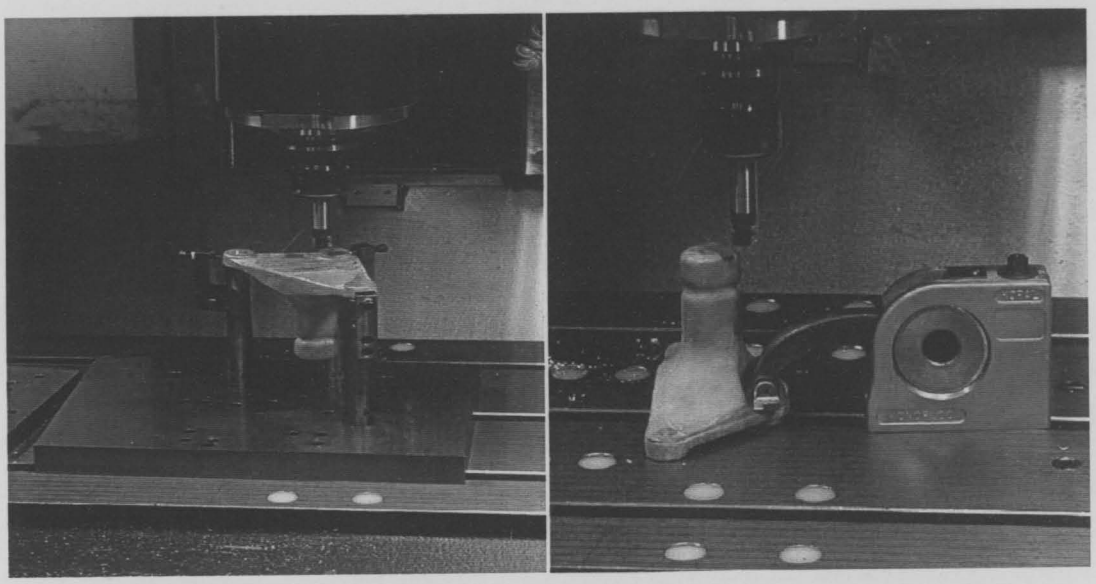


Figura 82 – Operações de maquinação (1ª e 2ª fases)

Finalmente na Figura 83 mostram-se duas imagens do componente no seu estado final, já com a maquinação executada.

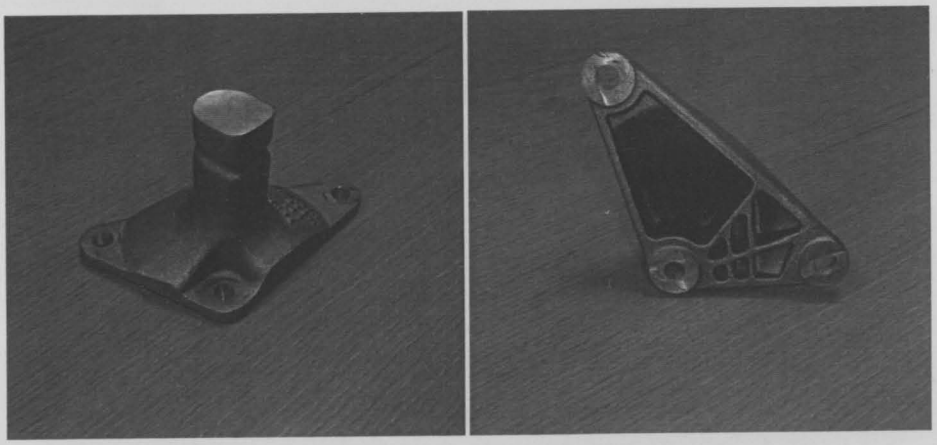


Figura 83 – Componente X3 (estado final)

8.3. Validação do Produto

Nesta etapa do projecto pretende-se validar o produto simulado e posteriormente prototipado. Assim, torna-se necessária alguma pesquisa bibliográfica acerca dos dispositivos de ensaio existentes no mercado, compreendendo um pouco o seu princípio de funcionamento.

A execução de um teste laboratorial permite obter, em poucos dias, diversas informações ao nível da resistência mecânica de um componente que, se anunciariam mais morosas quando avaliadas num veículo em funcionamento normal. Assim, submete-se o componente a um estado de tensão pré-definido, tentando-se simular os esforços existentes na utilização normal do veículo.

8.3.1. Projecto de dispositivo de ensaio

No mercado actual existem variadíssimos dispositivos de ensaio. Para este caso específico, pretende-se utilizar um dispositivo que execute um teste de fadiga ao conjunto dos três componentes (componente X3, peça "em caixa" e elemento elastómero). Para tal e conforme as especificações existentes no caderno de encargos do cliente, é necessário que o aparelho permita a realização de determinadas características em ciclo, como seja o período, amplitude e intensidade da carga a aplicar em cada um dos sentidos.

A base genérica sobre a qual assenta este tipo de equipamentos é constituída, normalmente por um sistema servohidráulico com um actuador linear. São utilizadas almofadas hidráulicas com a função de minimizar o atrito. A geração dos ciclos, com as respectivas cargas é feita através da utilização de veios excêntricos, sendo o movimento transmitido às peças por meio de hastes metálicas.

Para a utilização desse dispositivo no ensaio do componente em causa, torna-se ainda necessário a definição dos dispositivos de fixação do componente. Assim, o componente X3 é fixo pelos pontos de aperto da base a uma estrutura rígida, simulando a fixação ao bloco do

motor, quando em funcionamento. No pino do componente X3 é montado o componente elastómero e este conjunto funciona montado no alojamento existente no componente tipo "caixa". Este componente é fixo ao topo da haste actuadora, cumprindo o correcto posicionamento do conjunto, simulando a sua montagem à estrutura do veículo (painel frontal). A haste actuadora cumpre as especificações do ensaio.

8.3.2. Ensaio do produto

O ensaio é executado segundo procedimento do cliente; sendo assim, encontra-se implícito um conjunto de regras previamente definidas e resultantes da experiência adquirida neste tipo de ensaio a estes componentes. Salienta-se que, para facilitar a montagem dos diversos componentes, é considerado o componente X3 rígido, sendo a actuação da carga aplicada por deslocamento do componente tipo "caixa", sendo que na montagem real no veículo, estas duas peças têm movimentação oposta.

Nos pontos abaixo indicados, é estabelecida a comparação entre as condições do ensaio e a simulação do cálculo de elementos finitos efectuada.

- Fixação do componente X3 à estrutura rígida – Simula a montagem do componente ao bloco do motor; na simulação de elementos finitos foi imposta a aplicação de elementos tubulares (nos pontos de fixação da base do componente) com deslocamento nulo nas faces inferiores dos mesmos.
- Montagem do componente elastómero no pino do componente X3 – Na simulação de elementos finitos a aplicação da carga é directa, sendo o seu valor tal ajustado ao valor de amortecimento do elastómero (definição do cliente)
- Aplicação da solicitação do componente tipo "caixa" ao elastómero e consequentemente ao componente X3. – Na simulação de elementos finitos a solicitação é estática e de valor igual ao máximo aplicado no ensaio, variando neste de 0 (zero) a este valor.

A Figura 84 apresenta o ensaio efectuado no laboratório indicado pelo cliente. Em anexo A, encontra-se o relatório deste ensaio

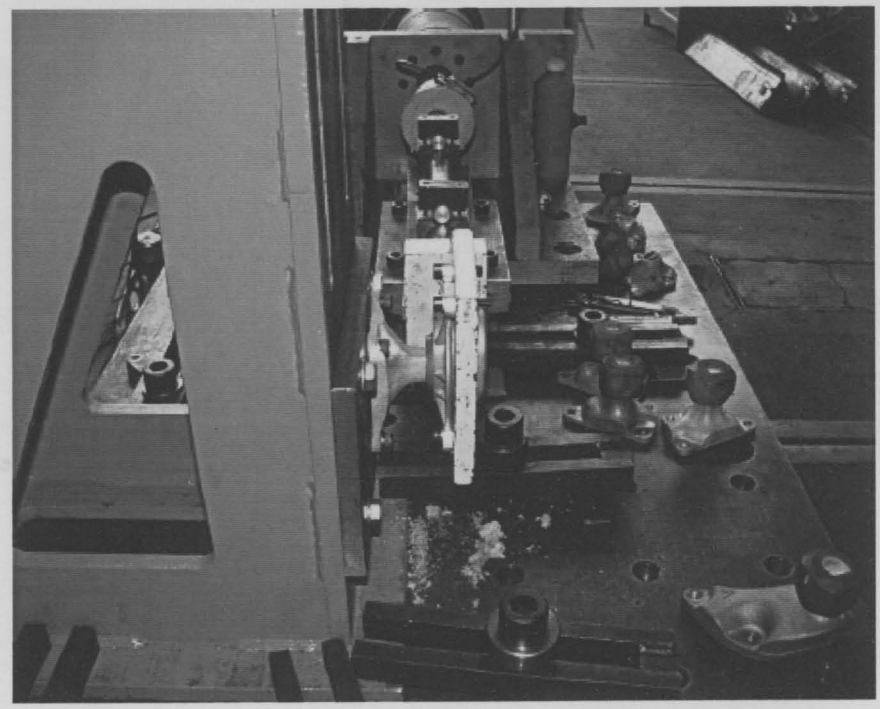


Figura 84 - Ensaio do Produto

BIBLIOTECA F.E. PORTO

9. Conclusões

Pretendeu-se com este trabalho, percorrer as principais fases de desenvolvimento de um componente, desde a sua definição geométrica, passando pela simulação por cálculo de elementos finitos, prototipagem e reprodução e finalmente a validação do produto com recurso a teste.

Numa primeira fase, a definição exterior do componente seguiu de perto a definição da peça de referência; no entanto, o contacto com um software de modelação (Pro-Engineer) tornou-se um desafio extremamente interessante. Contudo, e para a validação das simulações por cálculo por elementos finitos, ficou bem claro que é extremamente importante toda a sensibilidade do projectista para a introdução de alterações no componente, tendo sido colocados em prática todos os conhecimentos técnicos ao nível da resistência mecânica.

Na fase de simulação a utilização de uma ferramenta apropriada (Pro-Mechanica®) facilita todo calculo que há uma década atrás seria extremamente difícil e moroso de executar.

A fase de prototipagem permitiu tomar contacto com as várias técnicas de prototipagem, sendo notória, nesta área que o conhecimento empírico do operador tem elevada importância. Este foi o primeiro instante em que foi possível observar o componente real.

Os requisitos do componente foram satisfeitos, incluindo o peso que tem o valor de 0,294kg encontrando-se claramente abaixo do limite imposto (0,380kg).

Terminada a etapa de prototipagem com reprodução dos componentes, foi executado o ensaio do produto.

Neste caso comprovou-se que o resultado das simulações executadas foram validados através do ensaio do produto, tendo a peça resistido às condições de esforço previstas no caderno de encargos (definição da solicitação e procedimento de ensaio) do cliente.

Este trabalho tornou-se uma mais valia para todos aqueles que directamente lhe estiveram ligados, permitindo demonstrar a importância das aplicações informáticas nos dias de hoje.

Em suma, é com grande agrado que se constata a existência de empresas que têm como objectivo o desenvolvimento tecnológico, tentando retirar todo o partido das aplicações informáticas disponíveis no mercado, como meio de reforçar a sua competitividade no mercado industrial em que estão inseridas.

É este uma das apostas principais da Küpper & Schmidt, tendo sido evidente a reestruturação operada no sentido de criar competências nesta área de desenvolvimento, protagonizando cada vez mais projectos com responsabilidade total de concepção de componentes.

Anexo A

Relatório de Ensaio (Technical University of Dresden)

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Faculty of Mechanical Engineering

INSTITUTE OF SOLID STATE MECHANICS
Chair of Experimental Mechanics and Operational Durability
Prof. Dr.-Ing.habil. K. L. Kotte

University of Technology Dresden · Institute of Solid State Mechanics · 01062 Dresden

Küpper & Schmidt
Sr. Meireles
S. Tiago de Riba-Úl

3720-502 Oliveira de Azeméis
Portugal

Phone: 0351/463 37990
Fax: 0351/463 37992
e-mail: kotte@mfm.mw.tu-dresden.de
ed. Dr. Eulitz

Your reference,

Dresden, den 15. Juli 2003

Proving report 52/03

torque arm (Drehmomentstuetze) part-no. X3 (part similar to 4F0 199 343 G) of Küpper & Schmidt

1. Task outline

One torque arm part-no. X3 (part similar to 4F0 199 343 G), sand casting, a component for graduation of Mr. Jorge Martins, were to be tested in accordance to proving code I/EG32-3-005 torque support metallic parts as of 07/02/01.

2. Test bed configuration

The test was carried out using a servohydraulic test rig of Schenck-type with 25 kN-linear actuator and digital 8800-controller of IST. The load was applied through a slide bar to which a 4B0 199 335 L was mounted stop cup. The test took place using a stop buffer. Figures 1 and 2 show the specimen, fig. 3 the test rig assemby. Test were carried out under load control; the electronical stroke monitoring was utilised to detect a potential failure.

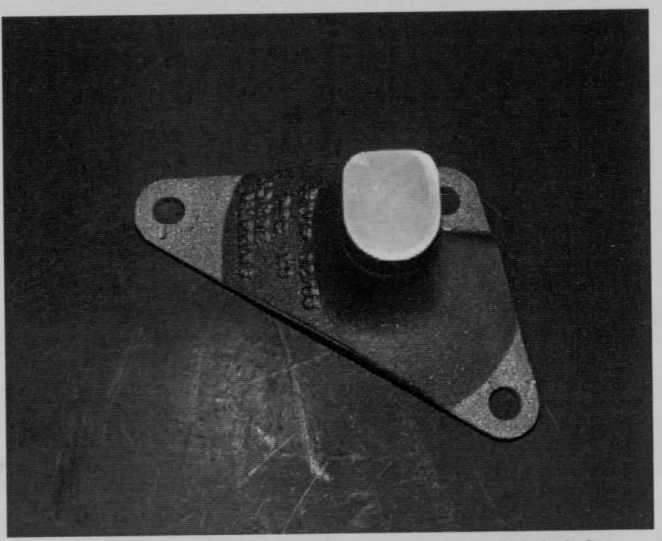


Fig. 1: torque arm part-no. X3 (part similar to 4F0 199 343 G), sand casting

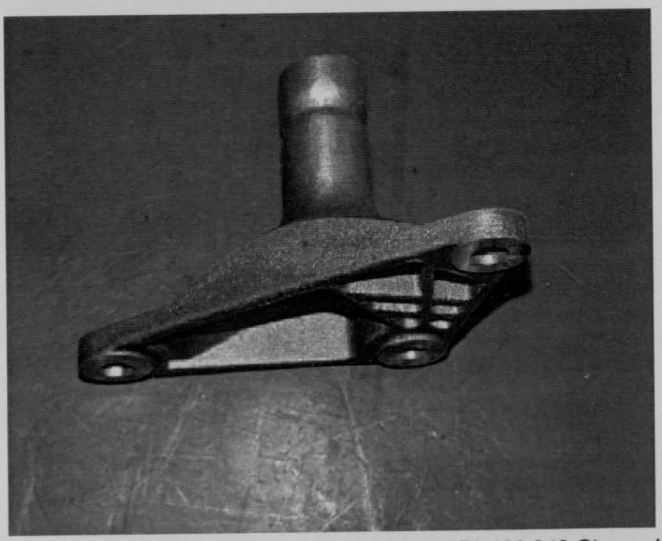


Fig. 2 torque arm part-no. X3 (part similar to 4F0 199 343 G), sand casting

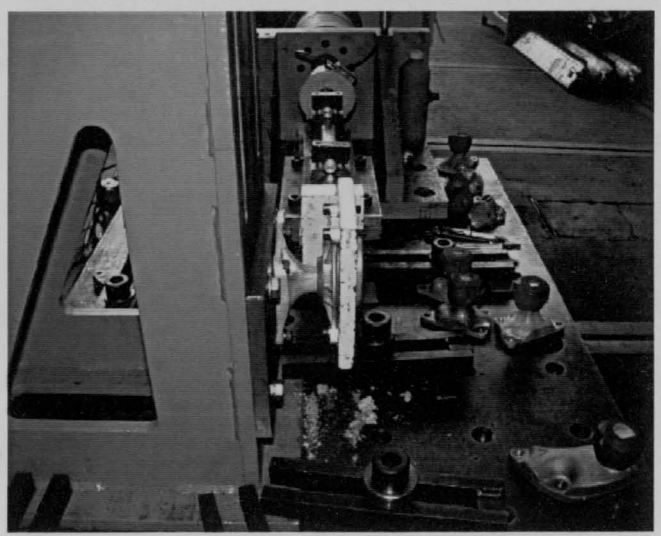


Fig. 3: test rig assembly

The sample were loaded with the same proving forces like for the torque arm 4F0 199 343 G, that means for tunnel support C-type, front HS:

a)	overload case		
	F_{z1} = 6 kN ± 6 kN	20 cycles	0,05 Hz
	F_{z2} = -5 kN ± 5 kN	3 cycles	0,05 Hz
b)	constant amplitude test		
	F_{z3} = ± 5 kN	1000 cycles	2 Hz
	F_{z4} = ± 3 kN	100.000 cycles	3 Hz
	two loops to be passed		

3. Results and summary

One torque arm part-no. X3 (part similar to 4F0 199 343 G), sand casting, was tested by order of Küpper & Schmidt. He passed the test. So it complies for test example to the proving guideline I/EG32-3-005 "Drehmomentabstuetzung Metallteile" (torque support metallic parts) as of 07/02/01.

Priv.Doz. Dr.-Ing.habil. K.-G. Eulitz

Anexo B

Procedimento de Ensaio do Cliente

	Versuchsrichtlinie	Funktionsgr. Nr. 199 VW Glied.gr. Nr.			
	Bez.: Aggregatelagerung Längseinbau	Abt.	Arb.Gr.	Lfd.Nr.	Bl. 7 - 11
	Drehmomentabstützung Metallteile	Ausgabe vom:		Version: 2.0	

4. Prüfungsdurchführung

Die Sonderereignisprüfung muß vor der Mehrstufenprüfung durchgeführt werden. Die Signalform ist sinusförmig.

Lagerungskonzept konventionell

Nr.	Prüfblock	B-Typ	C-Typ	D-Typ	Bemerkung [1]
1	Sonderereignisprüfung Z Vorlast gemäß Bilder 1 - 3	F_{z1} = 6 ± 6 kN **Front-HS** F_{z1} = 5 ± 5 kN **Rest** n_{z1} = 20 LS			Vorlast 6/5 kN in Richtung +Z f = 0,5 – 2 Hz
		F_{z2} = - 5 ± 5 kN **Front-HS** F_{z2} = - 4 ± 4 kN **Rest** n_{z2} = 3 LS			Vorlast 5/4 kN entgegen Richtung +Z f = 0,5 – 2 Hz
2	Mittellastprüfung Z	F_{z3} = ± 5 kN n_{z3} = 1.000 LS		F_{z3} = ± 6,5 kN n_{z3} = 1.000 LS	f = 1 – 3 Hz
3	Niedriglastprüfung Z	F_{z4} = ± 3 kN (Alu-Teile) F_{z4} = ± 2,1 kN (Stahl-Teile) n_{z4} = 100.000 LS		F_{z4} = ± 4,2 kN (Alu-Teile) F_{z4} = ± 3 kN (Stahl-Teile) n_{z4} = 100.000 LS	f = 1 – 3 Hz (f = 5 – 20 Hz [2])

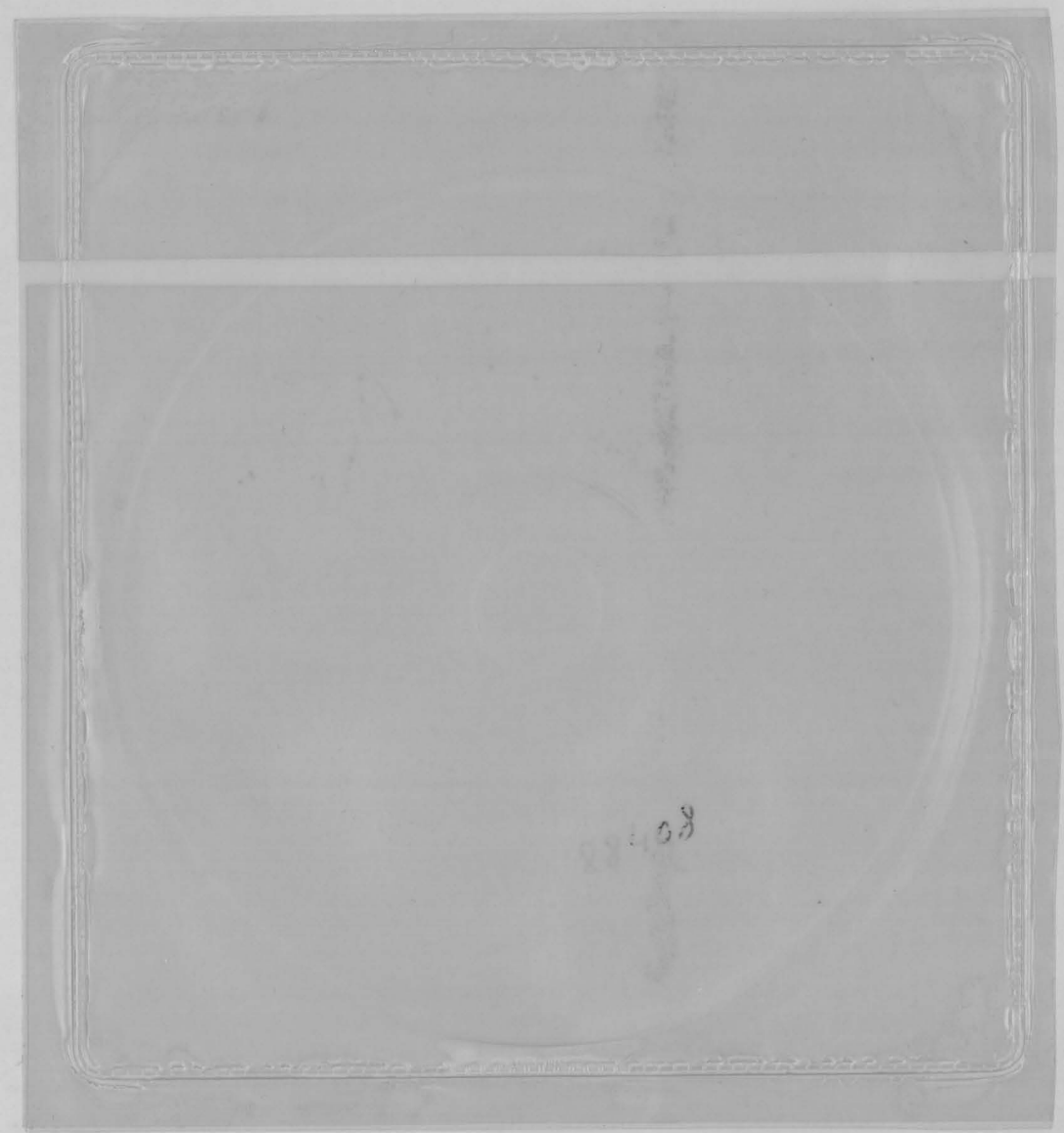
1) Die Angaben zur Prüffrequenz sind Anhaltswerte. Grundsätzlich gilt, daß ein Erreichen der Lasten sichergestellt sein muß.
2) Diese Angabe gilt für starre Prüfaufbauten ohne Verwendung von Elastomerteilen zur Krafteinleitung (z.B. V8-Stütze und Konsole).

Anexo C

Ficheiros de modelação 3D

"ComponenteX3.prt.1" – Pro-Engineer®

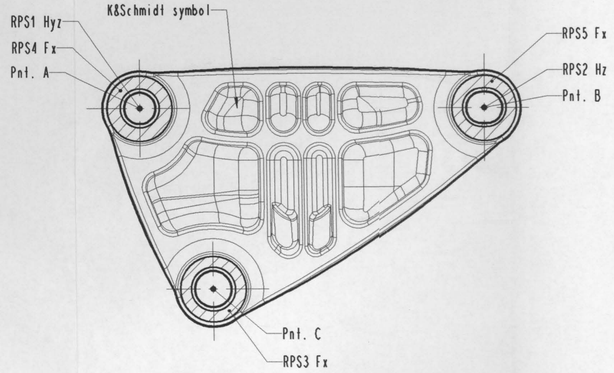
"ComponenteX3.igs"

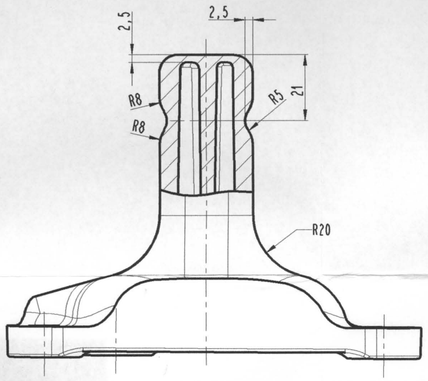


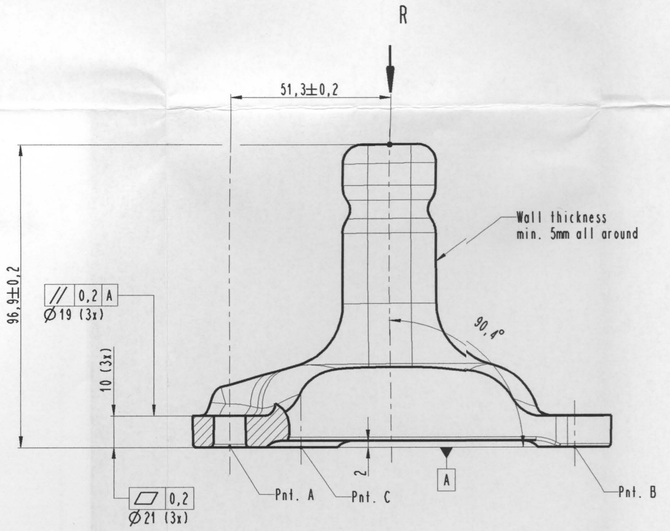
BIBLIOTECA F.E. PORTO

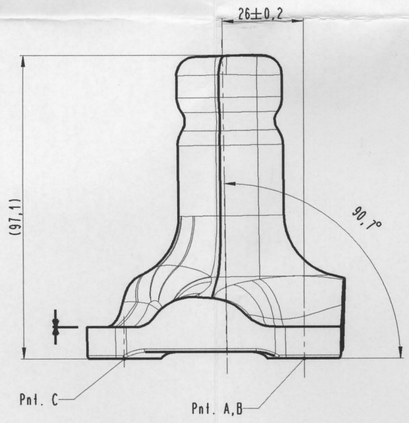
Desenho A

Desenho 2D do Componente X1 (peça de referência)

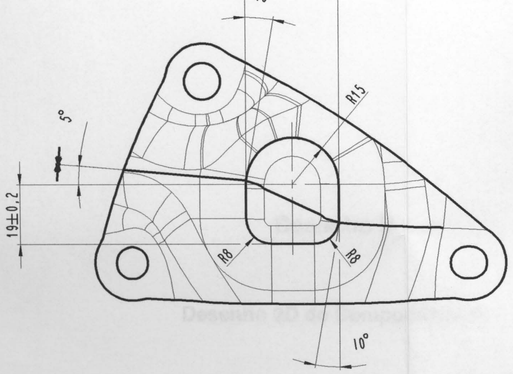


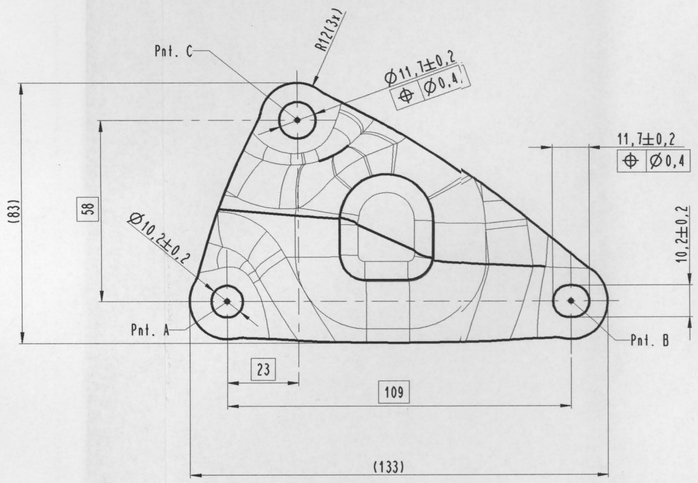




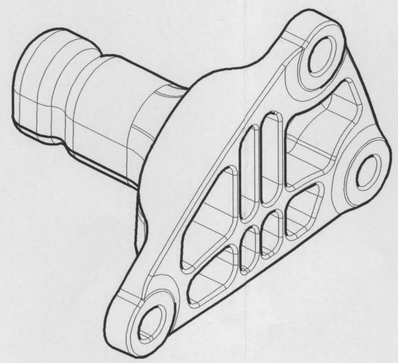


View R
(along pin axis)





3D View



G			
	>400 ≤ 1000		
	>120 ≤ 400	±0,5	
	> 30 ≤ 120	±0,5	
	> 6 ≤ 30	±0,5	
	≤ 6	±0,5	
	Angle	±1°	
		finished	raw

Draft angles 1,5°
Non-dimensioned wall thickness 4,0mm
Non-dimensioned ribs 3,0mm
Non-dimensioned radii min. R1

Undimensioned shapes are to be taken from the data record.

Co. Küpper + Schmidt P-Oliveira de Azemeis	
Approved designer / supplier / place of production	Type rellease granted / date
Type approval by TE required	

Sect.	RPS / Funct. point	Global coordinates x	y	z	Mounting type/ note	Reference point: x.....y.....z..... Theor. angle of rotat. around axis: x.....y.....z..... Nominal sizes AE x/a	AE y/b	AE z/c	Tolerances x/a	y/b	z/c	⌖Ø
A4	1Hyz	429,5	-115	-131	Hole Ø10,2±0,2	0	0	0				
A6	2Hz	429,5	-6	-131	Oval hole Ø10,2+0,2x11,7+0,2	0	109	0				
B5	3Fx	429,5	-92	-73	Surface Ø11,7+0,2xØ19	0	23	58				
A4	4Fx	429,5	-115	-131	Surface Ø10,2+0,2xØ19	0	0	0				
A6	5Fx	429,5	-6	-131	Surface Ø11,7+0,2xØ19	0	109	0				

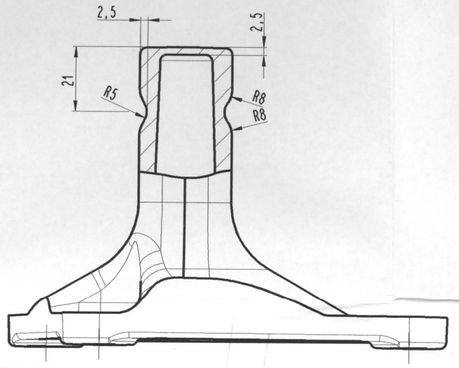
References	No.	Section	Date	Changed	Appr.	Revision Record and Change date code

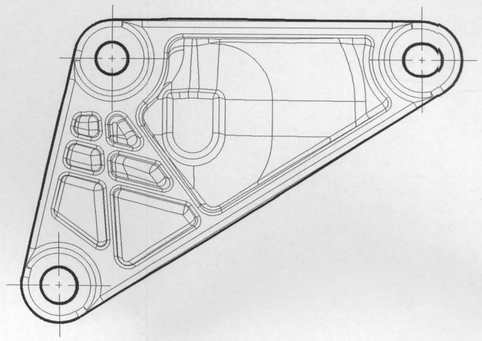
Type-Appr.-Doc.	CAD-System and Administration code

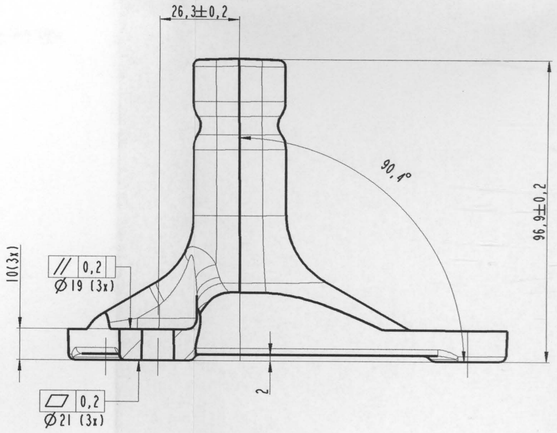
Material: DIN EN 1706 AC - AlSi12Cu1(Fe) DF				Design Resp.
Material treatment: ----------				Name
Semi-finished product: ----------			Layout No.	Dept
Surface protection				Tel.
Weight (g)	calculated	actual prototype	production	Eng.Proj.No.
COMPONENTE X1	348			Drawn
Safety Doc. ---	Designation			
	Title			
Scale 1:1	Part-No. COMPONENTE X1			D.Size A1
				Sheet 1
				of 1

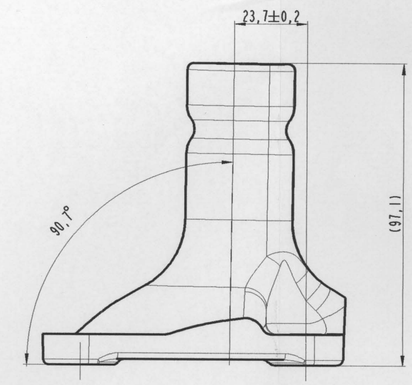
Desenho B

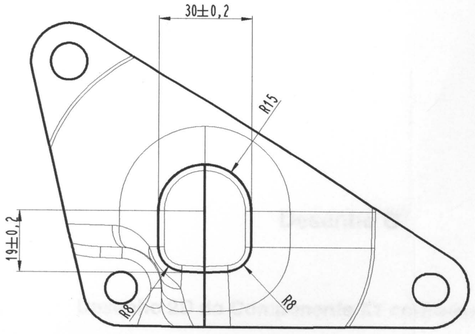
Desenho 2D do Componente X3

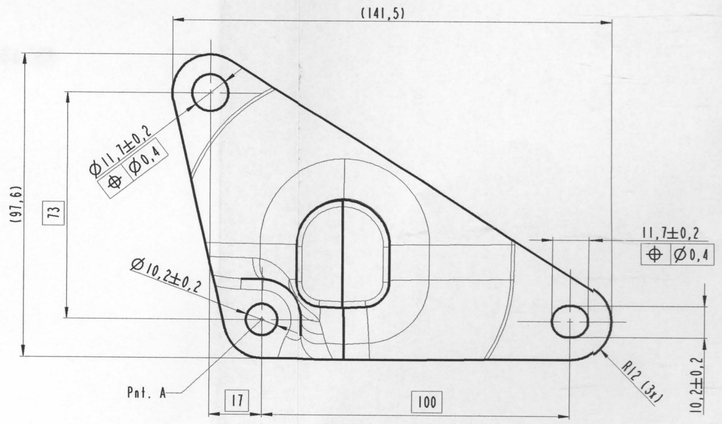


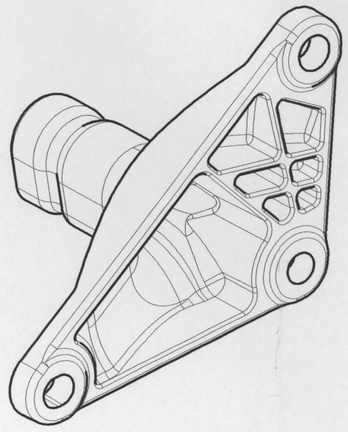












>400 ≤ 1000		
>120 ≤ 400	±0,5	
> 30 ≤ 120	±0,5	
> 6 ≤ 30	±0,5	
≤ 6	±0,5	
Angle	±1°	
	finished	raw

Draft angles 1,5°
Non-dimensioned wall thickness 4,0mm
Non-dimensioned ribs 3,0mm
Non-dimensioned radii min. R1

Undimensioned shapes are to be taken from the data record.

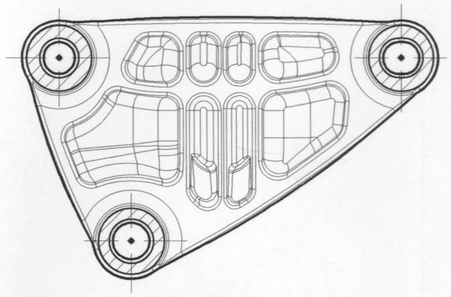
References

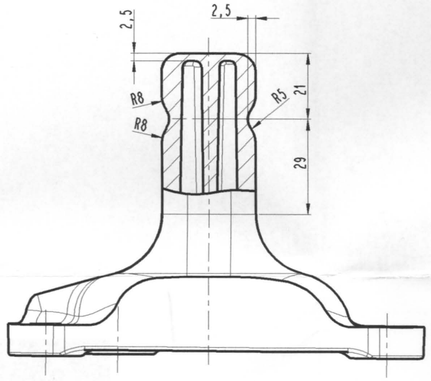
No.	Section	Date	Changed	Appr.	Revision Record and Change date code

Type-Appr.-Doc.	CAD-System and Administration code			
Material				Design Resp.
Material treatment				Name
Semi-finished product			Layout No.	Dept
Surface protection				Tel.
Weight (g)	calculated	actual prototype	production	Eng.Proj.No.
COMPONENTE .X3	291			Drawn
Safety Doc.	Designation			
	Title			
Scale 1:1	Part-No. COMPONENTE .X3			D.Size A1
				Sheet 1
				of 1

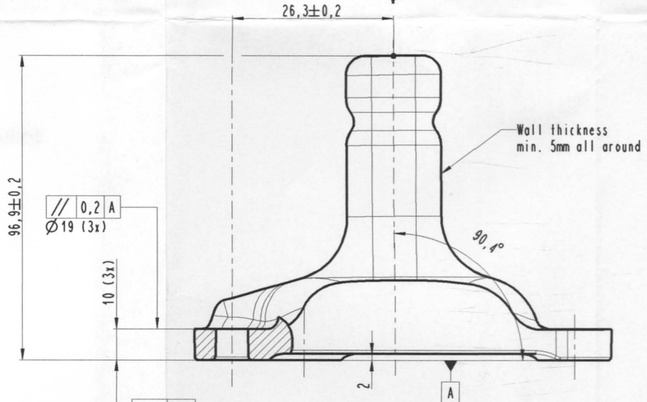
Desenho C

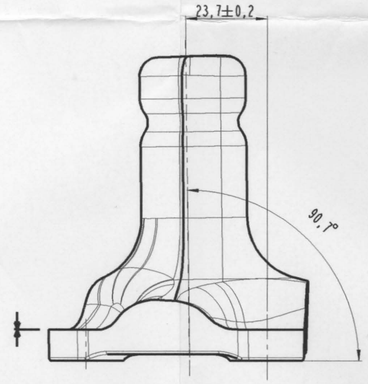
Desenho 2D do Componente X1 com especificação X3



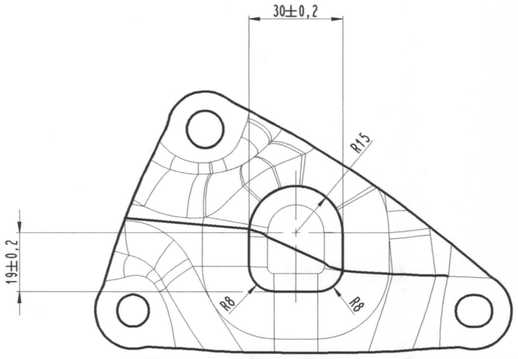


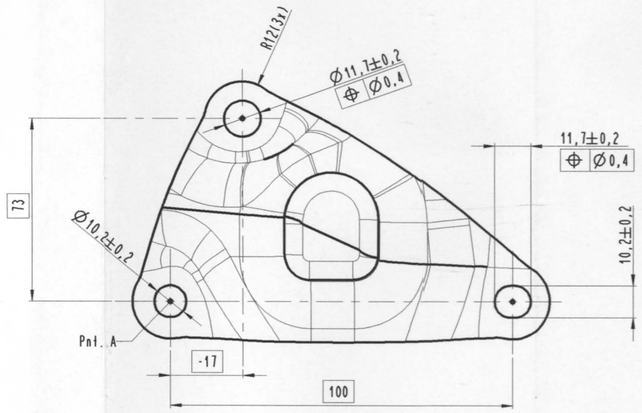
R



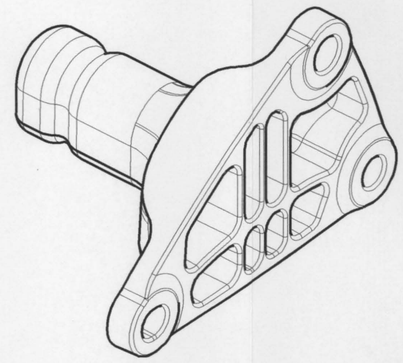


View R
(along pin axis)





3D View



Sect.	RPS / Funct. point	Global coordinates x	y	z	Mounting type/ note	Reference point: x.....y.....z..... Theor. angle of rotat. around axis: x.....y.....z..... Nominal sizes AE x/a	AE y/b	AE z/c	Tolerances x/a	y/b	z/c	⌖ Ø
A4	1Hyz	429,5	-115	-131	Hole Ø10,2±0,2	0	0	0				
A6	2Hz	429,5	-6	-131	Oval hole Ø10,2+0,2x11,7+0,2	0	109	0				
B5	3Fx	429,5	-92	-73	Surface Ø11,7+0,2xØ19	0	23	58				
A4	4Fx	429,5	-115	-131	Surface Ø10,2+0,2xØ19	0	0	0				
A6	5Fx	429,5	-6	-131	Surface Ø11,7+0,2xØ19	0	109	0				

	finished	raw
>400 ≤ 1000		
>120 ≤ 400	±0,5	
> 30 ≤ 120	±0,5	
> 6 ≤ 30	±0,5	
≤ 6	±0,5	
Angle	±1°	

Draft angles 1,5°
Non-dimensioned wall thickness 4,0mm
Non-dimensioned ribs 3,0mm
Non-dimensioned radii min. R1

Undimensioned shapes are to be taken from the data record.

References

No.	Section	Date	Changed	Appr.	Revision Record and Change date code

Type-Appr.-Doc. | CAD-System and Administration code

Material: DIN EN 1706 AC - AlSi12Cu1(Fe) DF

Material treatment: ----------

Semi-finished product: ---------- | Layout No.

Surface protection

Weight (g)	calculated	actual prototype	actual production	Eng.Proj.No.
COMPONENTE X1	348			

Design Resp. | Name | Dept | Tel. | Drawn

Safety Doc.: ---

Designation

Title

Scale 1:1

Part-No.

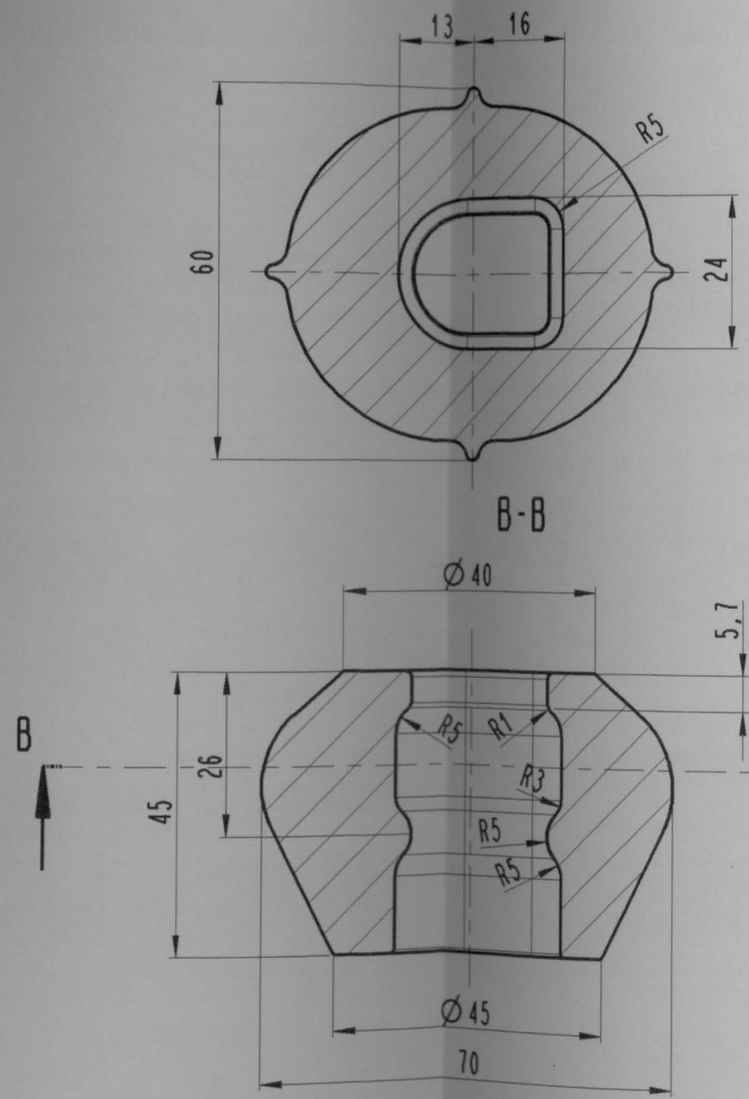
COMPONENTE X1

Base dimensional para o componente X3

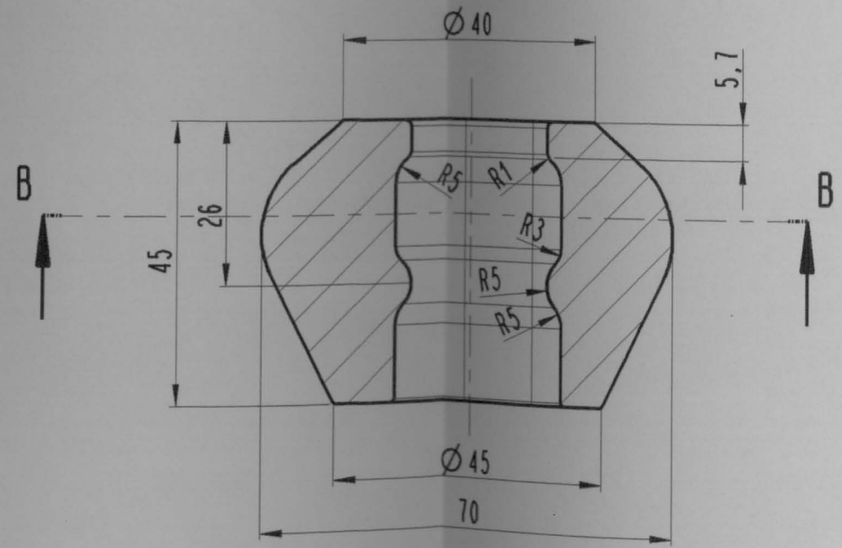
D.Size A1 | Sheet 1 | of 1

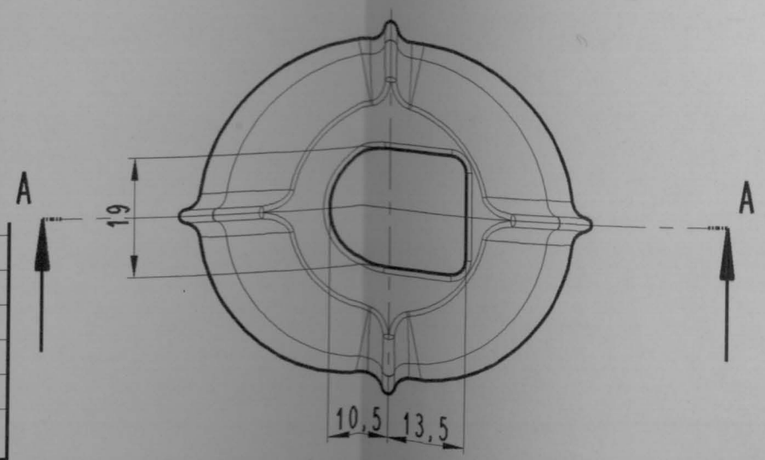
Desenho D

Desenho 2D do Componente Elastómero



B-B





>400 ≤ 1000		
>120 ≤ 400		
> 30 ≤ 120	±1	
> 6 ≤ 30	±0,5	
≤ 6	±0,4	
Angle	±1°	
	finished	raw

References

No.	~~Section~~	Date	Changed	Appr.	Revision Record and Change date code
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				
	-				

Type-Appr.-Doc.

CAD-System and Administration code

Material: TL 52334

Material treatment

Semi-finished product

Surface protection

Layout No.

Weight (g): calculated: 43; actual: prototype / production

Eng.Proj.No.

Safety Doc.

Designation

Title

Scale: 1:1

Part-No.: ELEMENTO ELASTÓMERO

D.Size: A3

Sheet: 1

of: 1

Design Resp.

Name

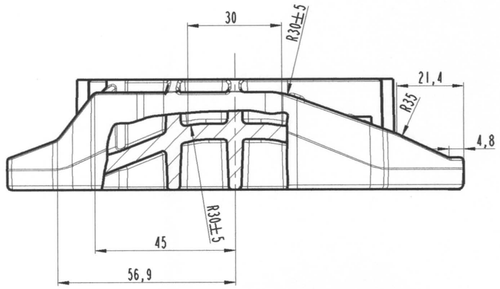
Dept.

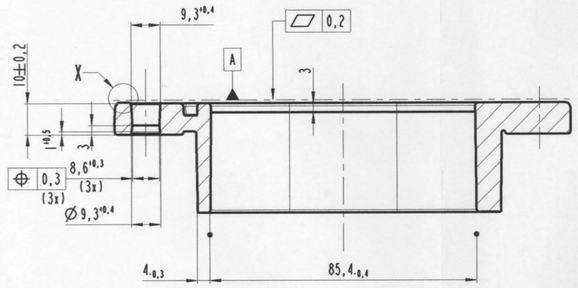
Tel.

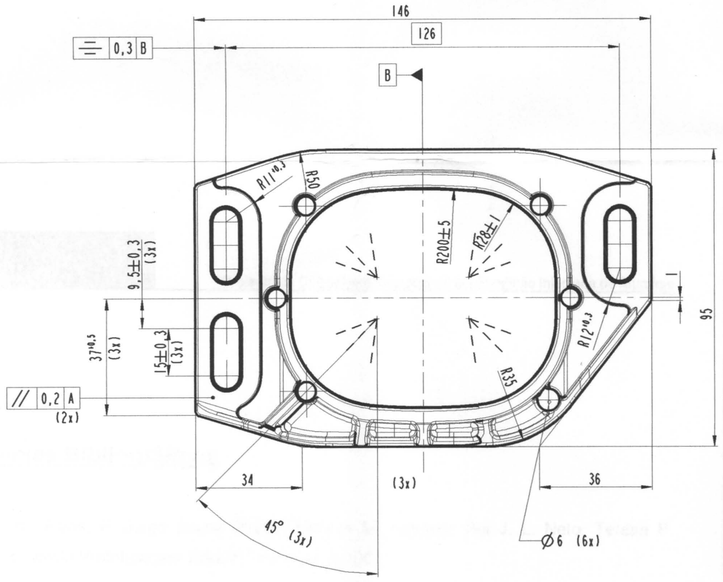
Drawn

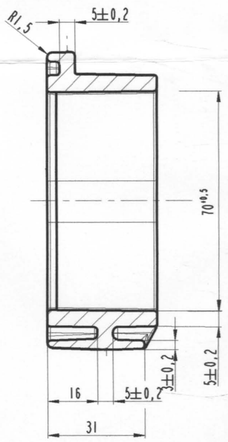
Desenho E

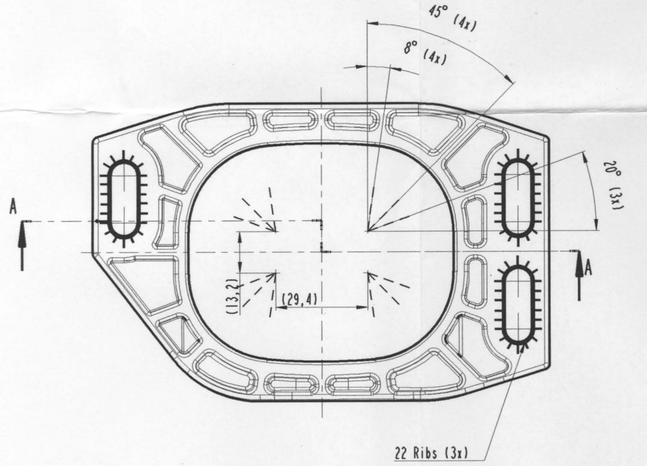
Desenho 2D do Componente tipo "caixa"

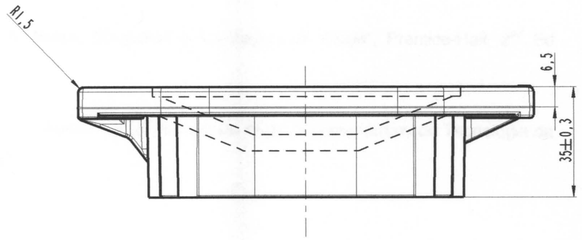




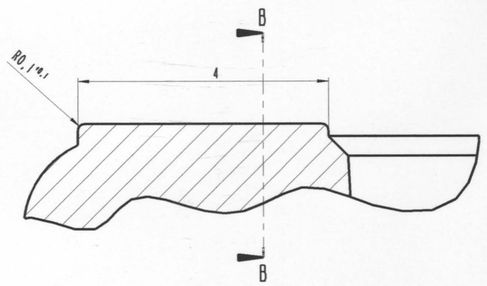




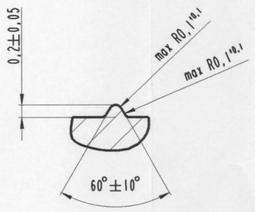




Detail X
20:1

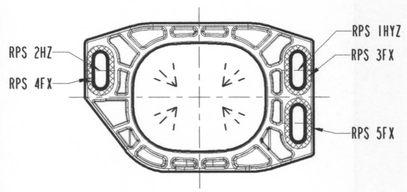


Section B-B
M20:1





1:2



1:2

Sect.	RPS / Funct. point	Global coordinates x	y	z	Mounting type/ note	Reference point: x.....y.....z..... Theor. angle of rotat. around axis: x.....y.....z..... Nominal sizes AE x/a	AE y/b	AE z/c	Tolerances x/a	y/b	z/c	⌖Ø
F3	1HYZ	413.35	93	-104.4	Oval hole Ø8.6+0.3 x 15	0	0	0	—	0	0	
F2	2 HZ	413.35	219	-104.4	Oval hole Ø8.6+0.3 x 15	0	126	0	—	0.3	0	
F3	3 FX	413.35	93	-104.4	Oval hole Ø8.6+0.3 x 15	0	0	34	0	—	—	
					Oval 22 x 37							
F2	4 FX	413.35	219	-104.4	Oval hole Ø8.6+0.3 x 15	0	126	0	0			0.4
					Oval 22 x 37							
F3	5 FX	413.35	93	-138.4	Oval hole Ø8.6+0.3 x 15	0	0	34	0			0.4
					Oval 22 x 37							

	finished	raw
>400 ≤ 1000		
>120 ≤ 400	±0,5	
> 30 ≤ 120	±0,5	
> 6 ≤ 30	±0,5	
≤ 6	±0,5	
Angle	±1°	

References

No.	Section	Date	Changed	Appr.	Revision Record and Change date code

Type-Appr.-Doc. | CAD-System and Administration code

Material: DIN 1725 GD Al Si 12 (Cu) | Design Resp.

Material treatment | Name

Semi-finished product | Layout No. | Dept

Surface protection | Tel.

Weight (g) | calculated | actual prototype | production | Eng.Proj.No. | Drawn

COMPONENTE TIPO "CAIXA"07

Safety Doc. | Designation

Title

Scale 1:1 | Part-No. COMPONENTE TIPO "CAIXA" | D.Size A1 | Sheet 1 | of 1



Referências Bibliográficas

F. Jorge Lino Alves, F. Jorge Sousa Braga, Manuel São Simão, Rui J. L. Neto, Teresa P. Duarte, "Protoclick! Prototipagem Rápida", Fevereiro (2001)

Egor P. Popov, Toader A. Balan, "Engineering Mechanics of Solids", Prentice-Hall, 2nd Ed (1998)

A. Barbedo de Magalhães, A. Aguiar Vieira, Rui Lemos Neto, "Apontamentos de Tecnologia da Fundição", FEUP (1998/99)

BIBLIOTECA F.E. PORTO

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
BIBLIOTECA
0000088408