

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

“TÉCNICA DE FUNDIÇÃO EM CASCA”

Trabalho apresentado pelo aluno Thomas Spring  
ao professor Dr. Ramon S. Cortés Paredes,  
professor da disciplina de Fundição do curso de  
engenharia mecânica da UFPR.

THOMAS SPRING

CURITIBA

## SUMÁRIO

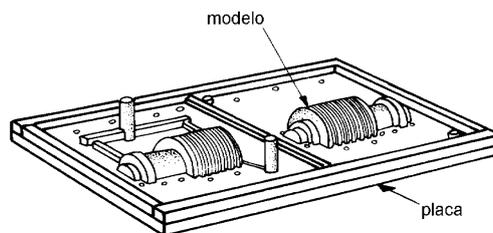
<b>1. Definição</b> .....	3
<b>2. Seqüência de fabricação</b> .....	3
<b>3. Aplicabilidade</b> .....	5
<b>4. Modelos para fundição em casca</b> .....	5
<b>5. Métodos de preparação de areia para moldagem em casca</b> .....	6
5.1. Utilização de resina líquida na produção de areia coberta.....	6
5.2. Utilização de resina em pó e solvente na produção de areia coberta.....	7
5.3. Utilização de areia quente e resina em escamas na produção de areia coberta.....	7
<b>6. Máquinas para moldagem em casca</b> .....	7
6.1. Máquina de reservatório de areia basculante (dump box).....	7
6.2. Máquina de sopro de areia (sand blow).....	8
6.3. Aquecimento das placas e machos.....	9
<b>7. Características da areia para moldagem em casca</b> .....	9
<b>8. Defeitos encontrados para diversas ligas</b> .....	10
8.1. Ligas ferrosas e ligas a base de níquel.....	10
8.2. Ligas a base de cobre.....	11
8.3. Ligas a base de alumínio.....	11
8.4. Ligas a base de magnésio.....	11
<b>9. Fotos do processo e equipamentos</b> .....	12
<b>10. Referências</b> .....	14

## 1. DEFINIÇÃO

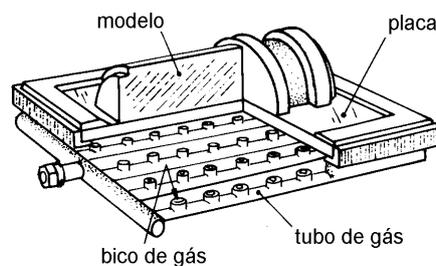
A fundição em casca é um processo no qual o molde é formado a partir de uma mistura de areia com uma resina termoestável como aglomerante, que é colocada contra um modelo metálico aquecido. Desta maneira, quando a mistura é aquecida a resina cura, o que provoca a aglomeração dos grãos de areia entre si, formando uma casca rígida que constitui metade do molde. Após a casca ter sido curada e extraída do modelo, os machos requeridos são posicionados, as metades do molde são ligadas, colocadas em uma caixa suporte onde é adicionado o material de apoio; o molde está então pronto para ser vazado.

## 2. SEQÜÊNCIA DE FABRICAÇÃO

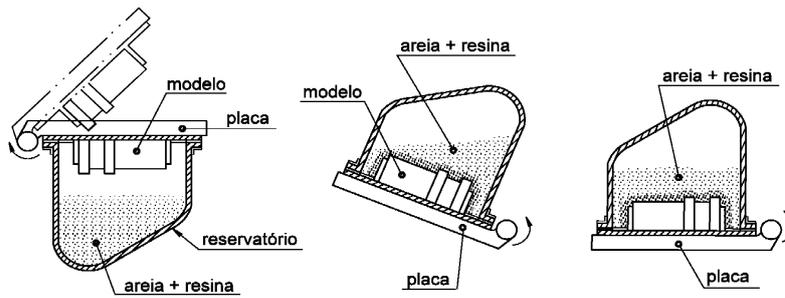
Confecciona-se um modelo em placa, chamado de macho. Este modelo geralmente é confeccionado em metal para suportar as altas temperaturas e resistir ao desgaste provocado pela areia. O modelo deve possuir todos os canais para a fundição, como os canais de respiro, alimentação etc.



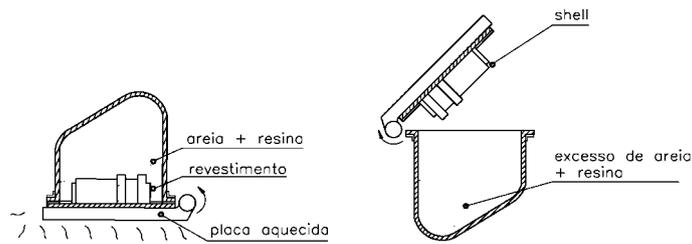
A placa é então presa na máquina e aquecida por meio de bicos de gás ou resistência elétrica até atingir a temperatura entre 200 – 250 °C.



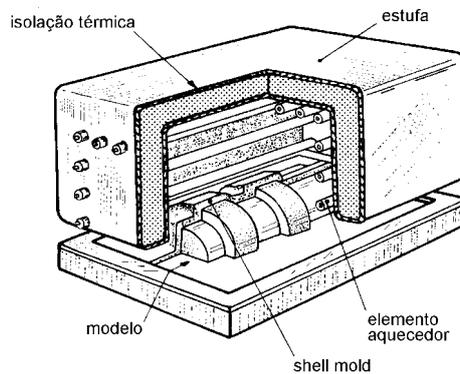
Coloca-se então a placa na máquina com o reservatório já preparado. Juntamente com o reservatório, a placa faz um giro permitindo assim o contato da mistura de areia e resina com o macho aquecido. Este contato ocorre por 10 a 15 segundos formando uma camada (casca) de 6 a 15 mm de espessura.



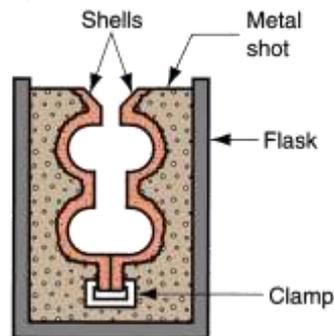
Retira-se em seguida a placa do molde junto com a casca, não totalmente endurecida. O restante da mistura de areia e resina permanece na máquina e é reaproveitada.



A placa de modelar (macho) juntamente com a casca é retirada do recipiente e colocada no forno de cocção. Lá permanece durante um determinado tempo a uma temperatura entre 250 a 300 °C, sinterizando-se.



Após este procedimento o molde está então pronto para ser vazado. Para isso, geralmente prende-se as duas metades da casca com um grampo. Dependendo do tamanho da casca, escoram-se as metades da casca com areia, limalha ou esferas de aço para que não ocorra deformação do molde.



(6)

### 3. APLICABILIDADE

A fundição em casca é utilizada na produção seriada de peças que variam em peso desde dezenas de gramas até aproximadamente 200 kg, tanto em ligas ferrosas ou de metais não ferrosos.

Principais vantagens do processo quando comparado com moldagem em areia verde:

- a) Excelente acabamento superficial.
- b) Tolerâncias dimensionais mais estreitas.
- c) Melhor e mais consistente reprodução do modelo.
- d) Maior facilidade de obtenção de peças com secções delgadas.
- e) Peças fundidas mais detalhadas.
- f) Alguns tipos de machos podem ser feitos como parte do molde.
- g) A limpeza das peças fica simplificada.
- h) Os moldes podem ser estocados por longo tempo.
- i) É utilizada apenas uma fração da quantidade de areia usual.
- j) Grande possibilidade de automatização.
- k) O processo não necessita de operários com longa prática.

Por outro lado, a técnica de fundição em casca apresenta algumas limitações como:

- a) Limitações de peso e dimensões máximas da peça a ser fundida.
- b) Elevado custo de modelos, os quais devem ser usinados em metal.
- c) Elevado custo de resina aglomerante.
- d) As contrações variam de acordo com a prática de fundição.
- e) Há necessidade de mais equipamentos e acessórios para controle.

### 4. MODELOS PARA FUNDIÇÃO EM CASCA

No processo de moldagem em casca devem ser utilizados somente placas e caixas com macho metálico, ou revestidos com material metálico. O ferro fundido é o material que oferece maiores vantagens. É um material acessível e tem ótima estabilidade nas temperaturas atingidas na moldagem em casca. É de fácil usinagem e seus modelos requerem pouca manutenção. Ferros fundidos ligados com baixos teores de cromo e níquel apresentam melhores resultados, pois são mais estáveis e têm maior resistência ao desgaste.

Outro material que pode ser utilizado como modelo é o bronze, o alumínio e o aço. O primeiro, apesar de apresentar boa resistência ao desgaste e estabilidade na temperatura de uso, é um metal caro e de difícil usinagem. Os modelos de alumínio, apesar de serem facilmente fabricados, apresentam baixa resistência ao desgaste, são facilmente danificados e tendem a empenar durante o uso prolongado. Já os modelos de aço são difíceis de fabricar e podem empenar durante o uso.

Peças salientes do modelo, como, por exemplo, o canal de entrada, podem ser feitas em liga de cobre de alta condutibilidade térmica, com a vantagem de obter-se rápida recuperação de calor.

Os moldes em casca podem ser classificados em:

- Classe 1: Modelos cujas tolerâncias e acabamento superficial batem com aquelas especificadas pelos desenhos do cliente, assim como suas exigências físicas e metalográficas.
- Classe 2: Modelos cujas tolerâncias e acabamento superficial batem em geral com aquelas exigidas pelo cliente, porém requer acabamento por usinagem. As exigências físicas do produto também batem com aquelas exigidas pelo cliente.
- Classe 3: Modelos cujas tolerâncias dimensionais não são consideradas tão importantes, porém seu acabamento superficial, seja na parte interna ou externa da peça, deve ser observado.

Obviamente que, quanto menor a classe do molde, mais caro ele fica, pois são necessárias técnicas bem mais precisas.

## 5. MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DE AREIA PARA MOLDAGEM EM CASCA

Para agregar a areia e manter o formato da casca após a retirada do macho, utiliza-se, misturada a areia, uma resina termoestável. Esta resina se liquefaz ao receber calor e, depois de seca, torna-se refratária.

O processo de fundição em casca pode utilizar apenas ingredientes secos, neste caso a areia seca e a resina termoestável em pó. A função da resina é aglomerar os grãos de areia utilizados na fabricação do molde. Pode-se dizer que esta resina exerce o papel de uma cola. É sabido que esta mistura de areia com resina apresenta algumas características indesejadas na fabricação de moldes em casca pelo processo de reservatório basculante. O maior problema encontrado é a segregação da areia e da resina durante o processo de moldagem.

A produção de machos ou moldes soprados é muito problemática quando se utiliza a mistura de areia e resina em pó. É comum ocorrer variação de densidade e a resina tende a ser expelida. Estes problemas podem ser eliminados fazendo-se uma cobertura da areia com a resina. A esta solução se dá o nome de “areia coberta”. As principais vantagens da areia coberta são:

- a) Estrutura do molde mais uniforme.
- b) Economia de resina.
- c) Menor necessidade de lubrificação.
- d) Maior fluidez.

Os três métodos para a cobertura de areia são:

- a) Com resina líquida.
- b) Com resina em pó e um solvente.
- c) Com areia quente e resina em escamas.

### 5.1. Utilização de resina líquida na produção de areia coberta

Mistura-se a areia e a resina líquida junto com outros elementos produzindo a areia coberta por resina. Mantêm-se os ingredientes na temperatura ambiente ou ligeiramente acima. O solvente da resina deve então

ser removido da mistura, produzindo assim uma areia seca e floável, cada grão de areia deve ser envolvido por uma cobertura de resina.

Neste método de cobertura, os ingredientes secos são misturados inicialmente por cerca de um minuto. Em seguida adiciona-se a resina, procedendo-se a mistura até a evaporação do solvente. Durante a secagem é necessário a contínua moagem e recomenda-se insuflar ar frio ou morno a mistura para acelerar o processo.

A desvantagem deste método é a necessidade de manusear grandes quantidades de líquido, geralmente muito viscoso e pegajoso.

## **5.2. Utilização de resina em pó e solvente na produção de areia coberta**

Este processo consiste em misturar a areia, a resina em pó e outros ingredientes durante cerca de um minuto. Em seguida, uma quantidade pré-determinada de solvente é adicionada, continuando a moagem até que a areia fique seca e flua livremente.

Podem ser utilizados solventes em forma de álcoois e cetonas. A cobertura da areia é excelente, porém a mistura tende a aglomerar durante a estocagem, o que obriga a maior manuseio e causa alguns problemas em máquinas de sopro. Este inconveniente pode ser corrigido utilizando-se uma mistura de álcool e água como solvente. A água modifica o grau de solvência de maneira que a areia coberta perde a tendência de empelotar. A relação mais favorável é de três partes de álcool para uma parte de água em peso.

A quantidade de solvente (álcool + água) adequada é de 1,5kg para cada 100 kg de areia quando se utiliza uma proporção maior do que 5%. Para teores menores de resina, 1,2 kg de solvente é uma quantidade suficiente.

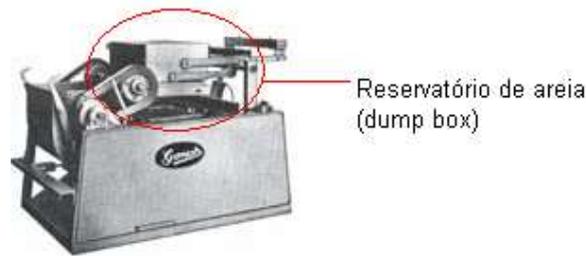
## **5.3. Utilização de areia quente e resina em escamas na produção de areia coberta**

Neste processo, a areia é previamente aquecida entre 135 e 175°C. Em seguida, é adicionada uma resina termoplástica em escamas (ou grãos) e a mistura é moída por 1 a 2 minutos. Esta moagem provoca a fundição da resina que cobre as partículas de areia. É adicionada então uma solução aquosa de catalisador (hexametileno-tetramina) sendo a mistura resfriada rapidamente por ar.

Este método, denominado de cobertura a quente, tem três principais vantagens quando comparado aos outros métodos de cobertura de areia: (1) a resistência da areia é aproximadamente 25% maior, (2) a areia coberta não tem tendência de produzir poeira e (3) não existe o perigo de incêndio durante a evaporação do solvente. A principal desvantagem deste processo é a necessidade de aquecimento da areia a temperaturas relativamente elevadas.

## **6. MÁQUINAS PARA MOLDAGEM EM CASCA**

### **6.1. Máquina de reservatório de areia basculante (dump box)**

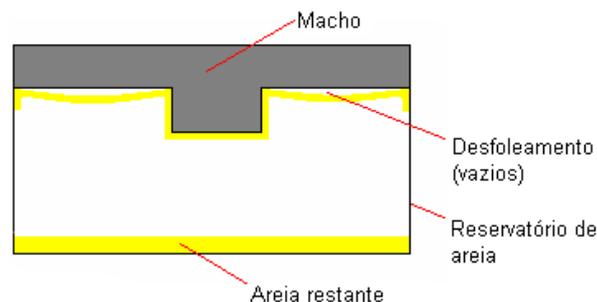


A parte superior do equipamento contém o reservatório de areia e a placa com o macho aquecido para formar a casca. A dump box, na parte superior, faz o giro e permite o contato da mistura de areia e resina com a placa aquecida.

As máquinas de reservatório de areia basculante (dump box) apresentam as seguintes vantagens com relação às máquinas de sopro:

- a) Simplicidade de operação.
- b) Menor custo de ferramental.
- c) Melhor controle sobre a dureza do molde.
- d) Mínima segregação de aditivos como, por exemplo, o óxido de ferro e o carbonato de cálcio.

A principal desvantagem da máquina tipo “dump box” é a possibilidade de desfolhamento da casca no momento da inversão do reservatório de areia. Isto pode ser causado pelo desligamento precoce do aquecimento ou inversão precoce do reservatório.



## 6.2. Máquina de sopro de areia (sand blow)

As máquinas de sopro são mais vantajosas quando se trata da produção de machos em “shell” e da produção de moldes em casca para a fundição em pilha. Os moldes soprados são geralmente duas a três vezes mais pesados que os moldes feitos pelo sistema de reservatório basculante. O equipamento sopra a areia para dentro dos machos aquecidos, esta areia permanece dentro do macho e, após formar a casca, o excesso é retirado. Para evitar problemas como desfoleamento de casca ou excesso de espessura em determinadas regiões, para isso algumas máquinas movimentam constantemente o macho para que a areia se espalhe uniformemente.

## 6.3 Aquecimento das placas e machos

Em geral o aquecimento das placas é feito por resistências elétricas ou a gás. A primeira consideração a ser feita é quanto a disponibilidade e os preços nos locais da instalação. Caso os dois exerçam igual influência, geralmente escolhe-se o aquecimento a gás. Citando como exemplo, nos Estados Unidos,

um dólar de gás contém mais unidades de calor do que um dólar de energia elétrica.

Um dos fatores que fala em prol do aquecimento elétrico é o fato deste possuir um maior controle. O aquecimento elétrico apresenta um controle preciso, de  $\pm 1^\circ\text{F}$ , enquanto o aquecimento a gás apresenta uma precisão de  $\pm 10^\circ\text{F}$ .

Caso a precisão do controle de temperatura não seja vital, existem diversos outros fatores que podem ser analisados na escolha do aquecimento, como por exemplo, o preço dos equipamentos.



Dump box com aquecimento elétrico

## 7. CARACTERÍSTICAS DA AREIA PARA MOLDAGEM EM CASCA

A escolha correta da areia e da aplicação desta é de extrema importância, pois isto afeta todas as etapas do processo produtivo.

As areias para a moldagem em casca, geralmente de sílica ou zircônio, variam de acordo com a pureza, granulometria, estrutura granular, pureza e distribuição dos grãos. Além do mais, estrutura química, ponto de sinterização, coeficiente de dilatação e taxa de retenção de umidade afetam o seu desempenho. Areias para a fundição em casca são muito mais finas do que aquelas usadas para a fundição convencional.

Problemas comuns na fundição em casca podem surgir devido à seleção e manuseio impróprios da areia a ser usada. Alguns destes problemas são:

- Alta rugosidade da superfície da casca devido à falta de compactabilidade de algumas areias.
- Problemas de acabamento superficial devido ao baixo ponto de sinterização de algumas areias.
- Variações dimensionais excessivas devido ao alto coeficiente de dilatação de algumas areias.
- Consumo excessivo de resina devido ao excesso de contaminantes presentes na superfície dos grãos de algumas areias.

Além dos aspectos técnicos, as areias devem ser mantidas perfeitamente secas. Esta exigência afeta os métodos de empacotamento, carregamento e transporte empregados pelo fornecedor da areia e,

conseqüentemente, os preços cobrados por este. Tanto em pequenas quanto em grandes fundições, experiências provaram que areias de baixo custo e baixa qualidade geralmente produzem peças de alto custo porém péssima qualidade.

O formato dos grãos é outro aspecto a ser considerado. Os três formatos existentes são angular, subangular e redondo. Os grãos redondos apresentam uma ótima permeabilidade, pois têm área de contato mínima área de contato entre grãos quando unidos pela resina.

Grãos com formato angular tem baixa permeabilidade quando unidos pela resina e os grãos com formato subangular apresentam características intermediárias aos outros dois tipos.

O tamanho dos grãos tem uma influência direta na propriedade refratária da areia. Geralmente, quanto menores os grãos, menos refratária e a areia. No caso da fundição em casca, os resíduos de carbono resultantes da decomposição de parte da resina, melhoram a capacidade refratária da massa permitindo assim utilizar areias muito finas sem atingir o ponto de fusão destas.

## 8. DEFEITOS ENCONTRADOS PARA DIVERSAS LIGAS

### 8.1. Ligas ferrosas e ligas a base de níquel

Quando fundidas em casca, algumas ligas com baixo teor de carbono e elevado teor de cromo, como os inconéis, por exemplo, estão sujeitas a defeitos superficiais induzidos pelos gases resultantes dos produtos da decomposição das resinas.

As reações metal molde podem ser minimizadas por: (1) redução da quantidade de gás na interface metal molde, (2) aumento da velocidade de solidificação e (3) modificação química do material do molde e metal líquido.

Para reduzir a quantidade de gás deve-se reduzir a quantidade de resina, pois esta libera hidrocarbonetos, hidrogênio e monóxido de carbono. Entretanto, teores de resina menores do que 3% geram cascas fracas e quebradiças. Outra maneira de reduzir este problema é através de uma pintura densa e impermeável.

Na tentativa de aumentar a velocidade de solidificação, pode-se tentar utilizar areia de zirconita, cromita ou olivina. Também se pode utilizar carbonato de cálcio, porém, em virtude da elevada quantidade necessária (20 a 50%) o seu uso é restrito a moldes em que se faz o duplo revestimento.

Por último, para tentar uma modificação química, pode-se utilizar dióxido de manganês e dióxido de chumbo na mistura de areia. Isto tende a melhorar o acabamento superficial de algumas ligas. Pode-se também utilizar desoxidantes poderosos como o magnésio.

### 8.2. Ligas a base de cobre

As ligas a base de cobre podem se moldadas com sucesso. As vantagens que estas ligas apresentam quando moldadas desta maneira são comuns às outras ligas. A moldabilidade de uma determinada liga de cobre é essencialmente a mesma em "shell molds" ou em areia verde.

Em virtude da menor temperatura de vazamento, as formulações de areias para estas ligas são menos críticas do que as utilizadas para a produção

de peças em ligas ferrosas. Em adição. Em virtude da reatividade relativamente baixa das ligas de cobre, os problemas de oxidação e reação metal molde são relativamente reduzidos.

### **8.3. Ligas a base de alumínio**

Durante a solidificação, o alumínio libera calor três vezes mais rápido do que o ferro, causando choque térmico e possível ruptura e empenamento do molde. Conseqüentemente é preferível utilizar areias subangulares na fabricação de moldes em casca para estas ligas, particularmente quando se trata de grandes superfícies planas. É preferível uma mistura de areia com resina em pó no lugar da areia coberta, em virtude da compactação ser menor, e, portanto apta a receber choques térmicos. Algumas fundições utilizam adições de óxido de ferro e serragem, com as seguintes finalidades: (1) diminuir a tendência ao empenamento do molde, (2) aumentar a colapsabilidade e (3) diminuir a tendência da resina reagir com o alumínio fundido. AS adições deste tipo obrigam a aumentar o teor de resina para 5 a 10 %.

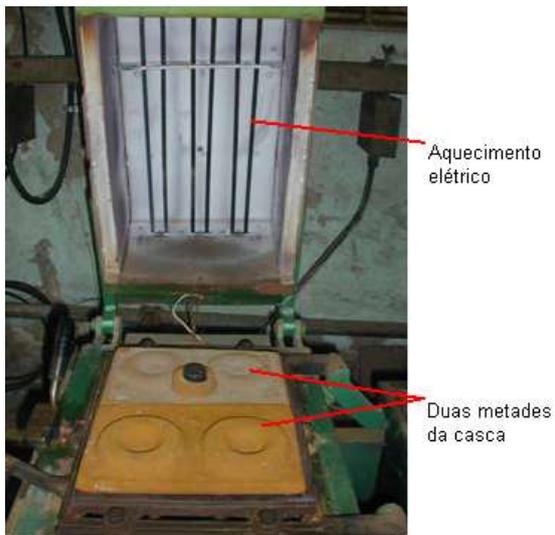
As ligas de alumínio têm geralmente elevada tendência a trincas de solidificação; em conseqüência, é imprescindível que os machos em "shell" tenham baixa resistência a quente. As misturas de areia para machos são produzidas com grãos arredondados e cobertos com resina, além de adições de óxido de ferro e serragem. As misturas com areia de grãos arredondados têm menor resistência e o processo de cobertura permite a utilização de menor quantidade de resina.

### **8.4. Ligas a base de magnésio**

A fundição de ligas a base de magnésio difere dos outros metais devido à necessidade de um inibidor. O magnésio fundido reage com o oxigênio, a areia de sílica e a umidade. O problema com a umidade em moldes em casca é reduzido a um mínimo em virtude do baixo teor residual de água. Para evitar a reação do magnésio com o oxigênio e a areia é necessária a adição de inibidores. A aplicação de pintura contendo inibidores em moldes é uma solução que apresenta êxito. No entanto, é necessário fazer uma secagem posterior do molde. Os métodos mais satisfatórios são os seguintes: (1) fluxar o molde com dióxido de enxofre e (2) incorporar um inibidor à mistura de areia com resina. O inibidor mais satisfatório é o borofluoreto de amônia ou uma mistura de borofluoreto e enxofre.

A areia utilizada na fundição de ligas de magnésio deve ser fina (preferivelmente 150 AFS) e o teor de resina o menor possível. Como resultado obtém-se maior condutibilidade e melhor colapsabilidade.

## 9. FOTOS DO PROCESSO E EQUIPAMENTOS



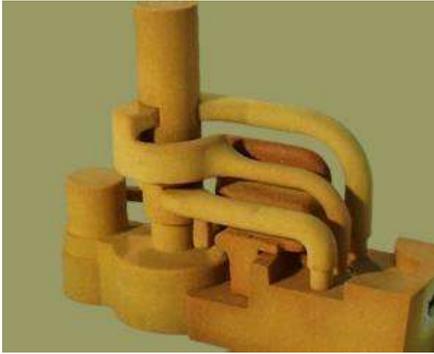
(Cascas retiradas da placa)



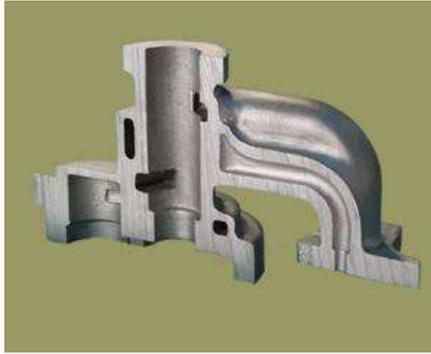
(Cascas sendo unidas e pré-aquecidas)(Vazamento do molde com alumínio)



(Peça destacada do molde)



(Modelo em casca)



(Corte da peça)



(Núcleo fundido)



(Peça pronta)

## 10. REFERÊNCIAS

- Andrews, S.L. Robert – “Shell Process Foundry Practice”, American Foundrymen’s Society, First Edition 1963.
- Finardi, Jorge – “Curso de Fundição de Ligas não Ferrosas”, aula XV1 – Técnica de Fundição em Casca, Associação Brasileira de Metais, 1961.
- [www.esskayinternational.com/casting2.htm](http://www.esskayinternational.com/casting2.htm) acesso em 02.02.2007 as 19:35.
- [www.metalwebnews.com/.../shell-moulding.html](http://www.metalwebnews.com/.../shell-moulding.html) acesso em 03.02.2007 as 22:40.