

## PROCESSO DE FUNDIÇÃO HYBRID<sup>®1</sup>

Henrique Leibholz<sup>2</sup>  
Rodolfo Leibholz<sup>3</sup>  
Felipe Leibholz<sup>4</sup>  
André Leibholz<sup>5</sup>  
Marcelo Pompermayer<sup>6</sup>  
Marco Araújo<sup>7</sup>

### Resumo

A pesquisa apresenta estudos feitos com um processo de fundição de dois materiais, com composição química e estruturas diferentes, em uma mesma peça. Este estudo tem como objetivo abrir novas possibilidades para produzir ferramentas de conformação com menor custo e maior eficiência.

**Palavras-chave:** Processo de fundição HYBRID<sup>®</sup>.

## HYBRID<sup>®</sup> FOUNDRY PROCESS

### Abstract

The research focuses on studies performed on castings composed of two materials. These materials have different structures and chemical compositions, and compose one casting. The goal of this research is to engineer tooling and stamping dies more efficiently and at lower cost.

**Key words:** HYBRID<sup>®</sup> foundry process.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 8º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 11 e 12 de agosto de 2010, São Paulo, SP.

<sup>2</sup> Departamento de Desenvolvimento, FEMAQ Fundição Ltda., Piracicaba – SP

<sup>3</sup> Departamento de Desenvolvimento, FEMAQ Fundição Ltda., Piracicaba – SP

<sup>4</sup> Diretor, FEMAQ Fundição Ltda., Piracicaba – SP

<sup>5</sup> Diretor, FEMAQ Fundição Ltda., Piracicaba – SP

<sup>6</sup> Gerente Industrial, FEMAQ Fundição Ltda., Piracicaba – SP

<sup>7</sup> Departamento Comercial, FEMAQ Fundição Ltda., Piracicaba – SP



## 1 OBJETIVO

A pesquisa apresenta estudos feitos com um processo de fundição de dois materiais, com composição química e estruturas diferentes, em uma mesma peça. Este estudo tem como objetivo abrir novas possibilidades para produzir ferramentas de conformação com menor custo e maior eficiência.

O processo de redução de custo e aumento de eficiência inicia-se através de usar um aço ligado para a parte de desgaste da ferramenta fundida, e, para a base da peça, um material de menor custo como, por exemplo, o nodular. Outras reduções de custo podem acontecer na usinagem em função do material da base em nodular apresentar características de melhor usinabilidade.

O desenvolvimento do processo HYBRID<sup>®</sup> abre novos caminhos para o setor de ferramentaria. Devemos lembrar que podemos pesquisar outras combinações de materiais produzindo novas estruturas, trazendo assim mais opções em inovações tecnológicas.

## 2 METODOLOGIA

O processo HYBRID<sup>®</sup> serve-se da fundição por gravidade e de modelos de poliestireno expandido, mais conhecido como *Fullmolding*. Realizamos o novo processo em uma matriz para a indústria automobilística que possui um punção inserido em uma base. A peça também possui uma uniformidade de paredes que sempre é recomendado para qualquer peça fundida, principalmente nos híbridos.

No critério de seleção dos materiais da matriz em estudo buscamos, porém, a situação mais extrema de compatibilidade de materiais, principalmente no que se refere ao tratamento térmico, para assim validarmos por completo o novo processo de fundição.

Vale destacar a colaboração da General Motors do Brasil sem a qual não teríamos chegado às conclusões finais desta pesquisa.

## 3 A MATRIZ HYBRID<sup>®</sup>

Para o projeto da matriz HYBRID<sup>®</sup> (Figura 1), determinamos um material de estrutura dupla, ou seja, um aço (semelhante ao aço 1.2769) para a face de trabalho, e um nodular ferrítico para a base da ferramenta. O aço ligado proporciona um bom desempenho quanto à sua vida útil, e uma alta resistência a abrasão, enquanto a base em ferro nodular torna a peça mais econômica, não somente no processo de fundição, mas também no custo da usinagem.

Para esta peça usamos 600 kg de aço e 2.400kg de ferro nodular. A quantidade de aço ligado foi calculada para preencher a parte da ferramenta que tem maior solitação mecânica e desgaste, enquanto a quantidade do ferro nodular é determinada pelo dimensionamento da base que suporta o punção. Lembramos ainda que os dois materiais seguem as características originais, ou seja, o aço pode ser normalmente temperado em suas bordas por chama ou indução.



**Figura 1:** A matriz HYBRID®.

### 3.1 Ensaio e Testes

Nesta etapa da pesquisa fizemos os seguintes testes para examinarmos a qualidade da peça fundida:

- Testes de dureza: as durezas obtidas estão dentro dos padrões especificados para cada material (Figura 2);
- Inspeção por líquido penetrante: na região da interface, não encontramos nenhuma descontinuidade (Figura 3);
- Amostra de material: tiramos, da área da interface, uma amostra de material para trabalharmos dela dois corpos de prova (Figura 4);
- Inspeções ultra-som: no corpo de prova (Figura 5), não constatamos defeitos como rechupes ou trincas (Figura 6 a 9);
- Testes micrográficos: as micrografias da interface indicam uma fusão perfeita do aço e do ferro nodular (Figuras 10 a 17);
- Ensaio de tração: como esperado, o corpo de prova rompeu no ponto da menor resistência, ou seja, na área do ferro nodular, e não na interface dos dois materiais (Figuras 18 e 19);
- Análise Química: os dois materiais estão dentro dos padrões especificados para cada material; e
- Tratamento térmico: estudo do tratamento adequado para os dois materiais.

### 3.1.1 Os testes de dureza

Os testes de dureza indicam na peça que são materiais diferentes. O aço apresenta 218 HB, o ferro nodular 160 HB:



Figura 2: Testes de dureza, executados na matriz HYBRID®.

### 3.1.2 A inspeção por líquido penetrante

A inspeção por líquido penetrante foi executada na interface dos dois materiais, indicando que é uma ligação metalúrgica perfeita.

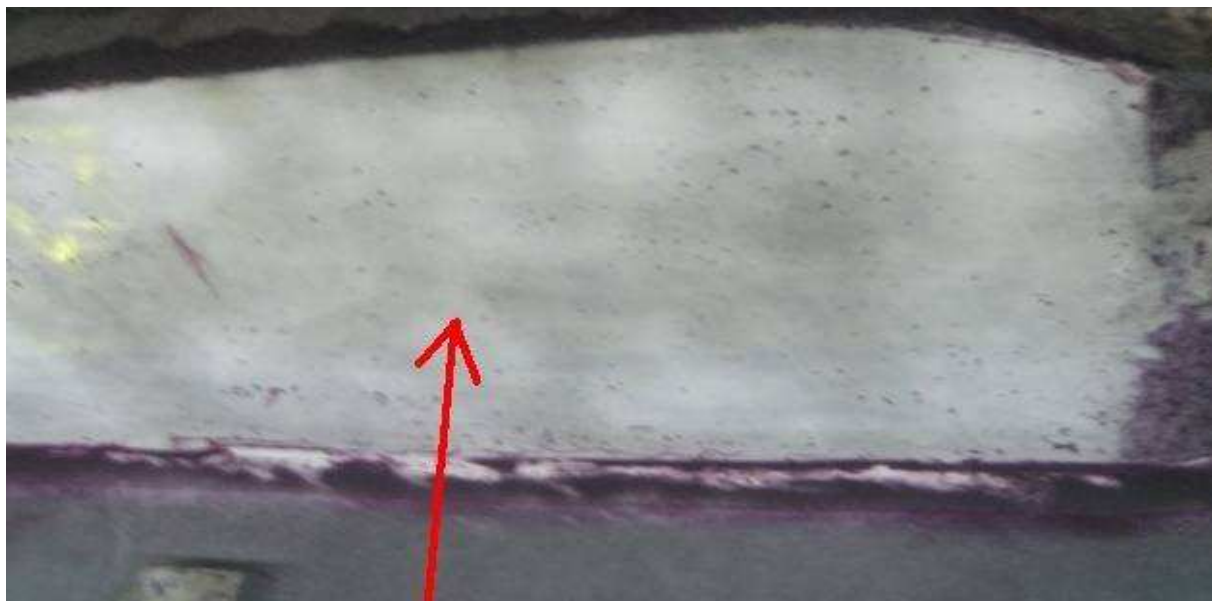


Figura 3: Inspeção por líquido penetrante executada na área da interface da matriz HYBRID®, após a aplicação do revelador.

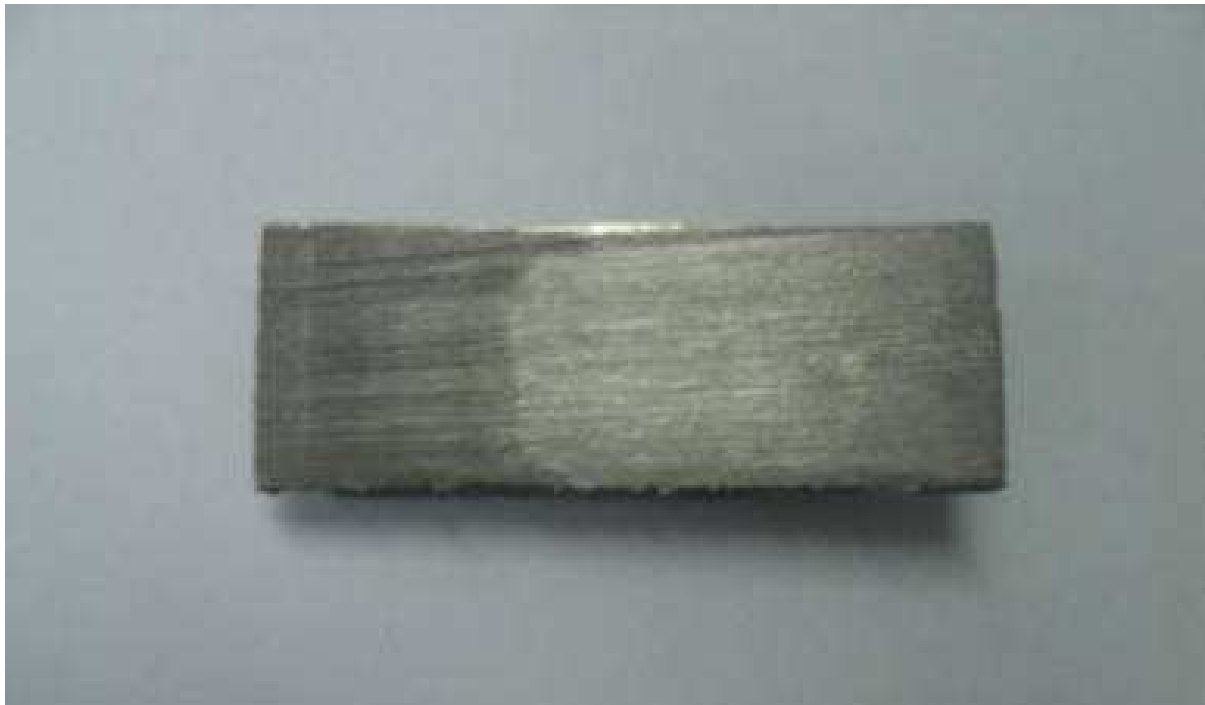
### 3.1.3 A amostra de material

Da amostra de material foram trabalhados dois corpos de prova: um para as inspeções ultra-som e os testes micrográficos, e outro para executar o ensaio de tração.



**Figura 4:** A matriz HYBRID<sup>®</sup>, local de retirada da amostra de material na área da interface.

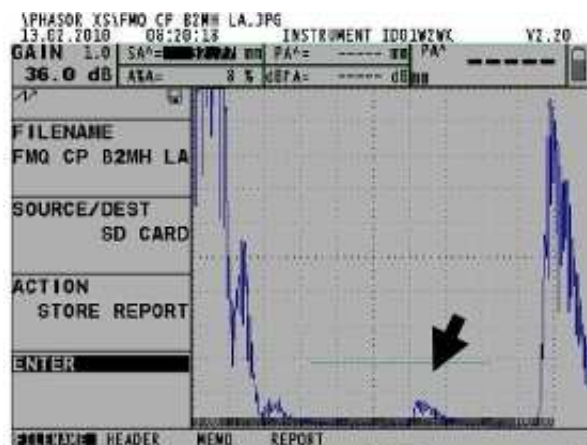
### 3.1.4 O primeiro corpo de prova



**Figura 5:** Corpo de prova evidenciando a interface, trabalhado a partir da amostra de material para as inspeções ultra-som e os testes micrográficos.

### 3.1.5 As inspeções ultra-som

Foram executadas quatro inspeções ultra-som, ou seja, a duas frequências diferentes, e com acoplamento no lado do aço e no lado do ferro nodular, respectivamente:

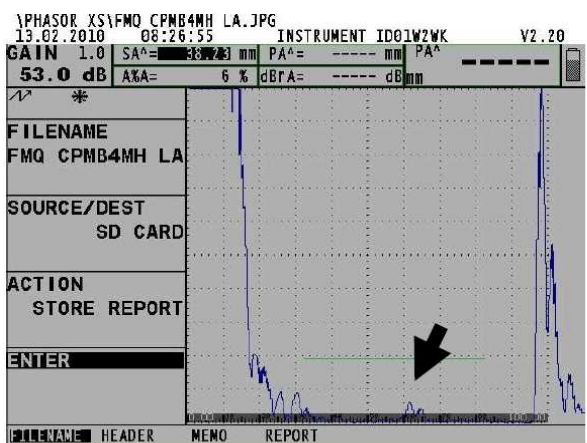


Eco de fundo com cabeçote B2 S apresentando **interface** a 62 mm de profundidade, sem obstrução da passagem do som.  
 Acoplamento lado Aço

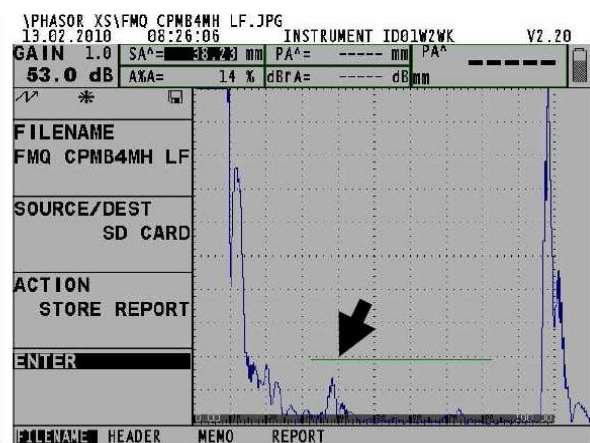


Eco de fundo com cabeçote B2S apresentando **interface** a 38 mm de profundidade, sem obstrução da passagem do som.  
 Acoplamento lado Ferro

**Figuras 6 e 7:** Os protocolos das inspeções ultra-som com a frequência de 2MHz.



Eco de fundo com cabeçote MB4 S apresentando **interface** a 62 mm de profundidade, sem obstrução da passagem do som.  
 Acoplamento lado Aço



Eco de fundo com cabeçote MB4S apresentando **interface** a 38 mm de profundidade, sem obstrução da passagem do som.  
 Acoplamento lado Ferro

**Figuras 8 e 9:** Os protocolos das inspeções ultra-som com a frequência de 4MHz

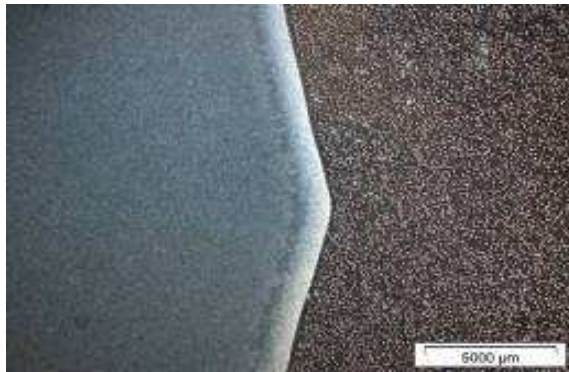
Da conclusão do laudo: “Tanto a frequência de 2 quanto a frequência de 4 MHz foram capazes de atravessar a massa de material, ficando uma leve interface entre a mudança de material devido à diferença de velocidade sônica dos mesmos. A inspeção nesta condição é possível.”

Eng.º Marcelo de Carvalho Salomão  
 SNQC N3 LP/PM/US

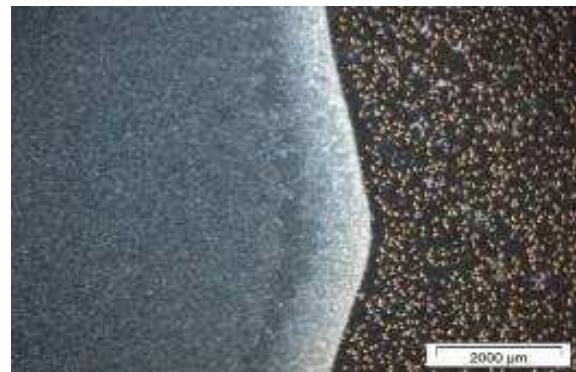
Com este laudo, a FEMAQ conclui que há uma ligação metalúrgica perfeita.

### 3.1.6 Os testes micrográficos

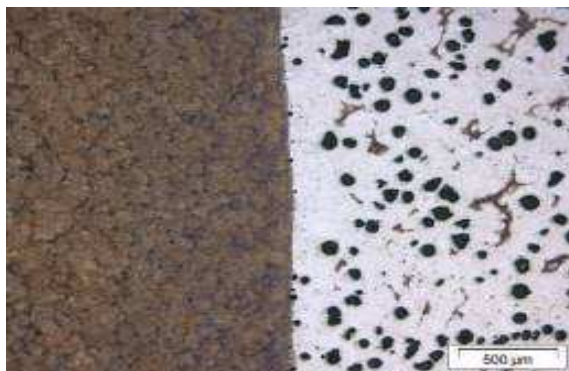
As micrografias da interface indicam uma ligação perfeita dos dois materiais:



**Figura 10:** Aumento de 8 x, Nital 2%



**Figura 11:** Aumento de 20 x, Nital 2%



**Figura 12:** Aumento de 50 x, Nital 2%



**Figura 13:** Aumento de 100 x, Nital 2%



**Figura 14:** Aumento de 100 x, Nital 2%



**Figura 15:** Aumento de 500 x, Nital 2%



**Figura 16:** Aum. de 1000 x, Nital 2%, com nódulos



**Figura 17:** Aum. de 1000 x, Nital 2%, sem nódulos

### 3.1.7 O ensaio de tração, executado no segundo corpo de prova

Para o ensaio de tração foi trabalhado este segundo corpo de prova. A Figura 18 mostra a sessão de aço, mais escura, à esquerda. No ensaio de tração, o corpo de prova rompeu na área do ferro nodular, à direita, com a estricção bem visível.



Figura 18: Corpo de prova



Figura 19: Corpo de prova, ruptura na área nodular

### 3.1.8 O relatório do ensaio de tração

	<b>RELATÓRIO DE ENSAIO/ANÁLISE</b> <b>Nº 0228.01444-10I-M1</b> <b>VIA ORIGINAL</b>	
	<small>Laboratório pertence à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio</small>	

**Empresa Solicitante:** FEMAQ FUNDAÇÃO ENG. E MÁQUINAS LTDA.  
AVENIDA PIRACICABA / TIETÊ Nº KM 1 PAULICEIA CEP 13400-970 PIRACICABA-SP

**Informações fornecidas pelo solicitante:**

**Material:**..... Não Declarado  
**Amostra:**..... Corrida: Teste - Peça  
**Documento:**..... Solicitação: 3786  
**Fornecedor declarado:**..... --  
**Natureza do ensaio/análise:**..... Mecânico

**RESULTADO OBTIDOS**

**1. Ensaio de tração:**

Propriedade	Resultados obtidos	*U
Limite de Resistência, MPa	<b>437</b>	± 2,6 MPa
Limite de Escoamento (0,2%), MPa	<b>310</b>	± 2,6 MPa
Alongamento (4Do), %	<b>13,5</b>	± 0,17 %
Redução de Área, %	<b>21,0</b>	± 0,17 %

**Obs.:**

**Preparação:** CONFORME NORMA ASTM A 370-09A, C.P. CONF. FIGURA 4.  
**Dimensão:** ø8,75 mm  
**Ensaio:** BASEADO NA NORMA ASTM A370-09a  
**Condições Ambientais:** Temperatura : 26°C  
**Equipamentos:** LBM-002 – Máquina Universal de Ensaio EMIC DL 60000 – Certificado de Calibração nº 430/09 – Validade: 06/2010.  
**Equipamentos:** LBM-002-3 – Extensômetro – Certificado de Calibração nº 4130/09 – Validade: 09/2010.  
**Procedimento de ensaios/análises:** PT - 02 - Rev. G - Ensaio de Tração em Materiais Metálicos.  
**Executado pelo operador:** RE: 15  
**Local do ensaio / Análise:** Labmat / Matriz

\*A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com graus de liberdade efetivos (veff) corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

**Data do recebimento da amostra:** 24/02/2010 **Data da realização do ensaio/análise:** 26/02/2010

Piracicaba, 1 de março de 2010

<p>Eng. Edson Roberto Saito</p>	<p>Eng. Anderson P. Rezo Supervisor do Laboratório - CREA - SP 360489289</p>
---------------------------------	--

Signatário Autorizado  
Carimbo e Assinatura

Carimbo e Assinatura

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras ensaiadas/analizadas.

As amostragens enviadas para análise são realizadas pelo próprio cliente.

Este documento tem sua marca de autenticidade gravada. Este Relatório de Ensaio/Análise só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório.

Este Relatório atende aos requisitos de Acreditação pela Cgcre/Inmetro, a qual avaliou a competência do laboratório.

A Cgcre é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation e de Acordo Bilateral de Reconhecimento Mútuo com a EA - European Cooperation for Accreditation.

**Fim do Relatório**



### 3.1.9 As diferentes áreas da matriz HYBRID®

Amarelo: Área do aço

Laranja: Área da interface

Vermelho terra: Área do ferro nodular



Figura 20: A matriz HYBRID® antes do processo de usinagem.



Figura 21: A matriz HYBRID® em fase de usinagem.

## 4 CONCLUSÃO

Até esta fase do projeto, o processo HYBRID® tem demonstrado grande potencial econômico e técnico na produção de ferramentas de conformação. A seleção dos materiais pelos quais optamos, ou seja, aço e ferro nodular, é altamente expressiva, visto que se trata do caso mais crítico dessa série de materiais híbridos. Apesar disso, devemos continuar os testes também com outras estruturas e combinações de materiais diferentes. Baseado nos resultados obtidos até o momento através dos



testes mecânicos, químicos e físicos, concluímos que o processo HYBRID® representa uma opção econômica e eficiente na construção de ferramentas de conformação.

Apesar dos resultados obtidos extremamente satisfatórios sob a óptica metalúrgica e mecânica, é de grande importância continuarmos, conseqüentemente, o desenvolvimento deste novo processo de fundição para podermos avaliar todo o seu potencial econômico e técnico.

### **Agradecimentos**

José A. Zara, Diretor da Ferramentaria da General Motors do Brasil  
Adilson Adalberto Matias, Gerente da Ferramentaria da General Motors do Brasil  
João Fernando Delafiori, Desenvolvimento de Maquinas e Processos da General Motors do Brasil

### **BIBLIOGRAFIA**

- 1 HASSE, S. Duktiles Gußeisen. Berlin: Fachverlag Schiele & Schön, 1996.
- 2 RAUTER, R. O. Aços Ferramentas. Rio de Janeiro: LTC, 1974.
- 3 RÖHRIG, K.; WÖLTERS, D. Legiertes Gußeisen, 2 vols. Düsseldorf: Gießereiverlag, 1976.
- 4 SILVA, A. L. C.; MEI, P. R. Tecnologia dos Aços. Campinas: Eletrometal e Unicamp, 1981.
- 5 SOUZA SANTOS, A. B.; CASTELO BRANCO, C. H. Metalurgia dos Ferros Fundidos Cinzentos e Nodulares. São Paulo: ITP, 1989.
- 6 WLODAWER, R. Gelenkte Erstarrung von Gußeisen. Düsseldorf: Gießereiverlag, 1977.