

**Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais**  
**TRABALHO DE FORMATURA II**  
**PMT-596**

ESCOLA POLITÉCNICA



**POLI**

**ESTUDO DA RECICLAGEM DAS**  
**LIGAS DE ZINCO PARA FUNDIÇÃO**  
**(ZAMAK'S)**

**Graduando:** Eduardo Puerta Machado Silveira  
**Orientador:** Prof. Dr. Eduardo Camargo de Oliveira Pinto  
**Coordenador da Disciplina:** Prof. Dr. Stephan Wolyneec

**NºUSP:** 2254713

**Data de Apresentação:** 08/02/2001, 9:00 horas

# ***Estudo da Reciclagem de Ligas de Zinco para Fundição (Zamak's)***



***Graduando:***

**Eduardo Puerta Machado Silveira**  
**[edupuerta@uol.com.br](mailto:edupuerta@uol.com.br)**

***Orientador:***

**Prof. Dr. Eduardo Camargo de Oliveira Pinto**  
**[ecopinto@ipt.br](mailto:ecopinto@ipt.br)**

**Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da  
Escola Politécnica - Universidade de São Paulo  
Av. Professor Lineu Prestes, 580 - Cidade Universitária  
São Paulo - SP - CEP: 05508-900  
<http://www.poli.usp.br>**

## ÍNDICE

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Resumo</b>                                                                                 | 01 |
| <b>Abstract</b>                                                                               | 01 |
| <b>1. Introdução</b>                                                                          | 02 |
| <b>2. As Ligas de Zinco-Alumínio</b>                                                          | 05 |
| <b>3. Produção das Ligas Zinco-Alumínio</b>                                                   | 08 |
| <b>4. Propriedades das Ligas Zinco-Alumínio</b>                                               | 09 |
| 4.1 Comparação do Zamak com outras ligas para Fundição                                        | 11 |
| <b>5. Aplicações das Ligas Zinco-Alumínio</b>                                                 | 12 |
| <b>6. Evolução das Ligas Zinco-Alumínio</b>                                                   | 13 |
| <b>7. Efeitos dos elementos nas Ligas Zinco-Alumínio</b>                                      | 16 |
| 7.1 Alumínio                                                                                  | 16 |
| 7.2 Cobre                                                                                     | 18 |
| 7.3 Magnésio                                                                                  | 20 |
| 7.4 Impurezas                                                                                 | 20 |
| 7.4.1 Chumbo                                                                                  | 20 |
| 7.4.2 Cádmio                                                                                  | 21 |
| 7.4.3 Ferro                                                                                   | 21 |
| 7.4.4 Estanho                                                                                 | 21 |
| <b>8. Microestrutura das Ligas Zinco-Alumínio</b>                                             | 22 |
| <b>9. Reciclagem das Ligas de Zinco-Alumínio</b>                                              | 23 |
| 9.1 Corrosão Intercristalina                                                                  | 26 |
| 9.2 Envelhecimento                                                                            | 28 |
| <b>10. Parte Experimental</b>                                                                 | 29 |
| 10.1 Definição das Experiências                                                               | 29 |
| 10.2 Obtenção de materiais                                                                    | 30 |
| 10.3 Realização das fusões e elaboração das ligas                                             | 31 |
| 10.4 Realização do tratamento de Envelhecimento e Ensaio                                      | 38 |
| <b>11. Conclusões</b>                                                                         | 47 |
| <b>Agradecimentos</b>                                                                         | 48 |
| <b>Referência Bibliográficas</b>                                                              | 48 |
| <b>Bibliografia Complementar</b>                                                              | 50 |
| <b>Apêndice I – Relatório das Visitas Técnicas</b>                                            | 51 |
| <b>Apêndice II - ABSTRACTS encontrados durante revisão bibliográfica na Biblioteca do IPT</b> | 59 |
| <b>Apêndice III – Propriedades/Composições das Ligas de Zinco para Fundição</b>               | 63 |
| <b>Apêndice VI – Informações e Propriedades do Latão ao Manganês</b>                          | 71 |

**ÍNDICE DE FIGURAS**

|                      |                                                                                                                               |    |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 01</b>     | Carburador – exemplo típico de peça produzida em Zamak                                                                        | 06 |
| <b>Figura 02</b>     | Exemplos de peças produzidas em Zamak                                                                                         | 12 |
| <b>Figura 03</b>     | Diagrama de Fase Zn-Al                                                                                                        | 17 |
| <b>Figura 04</b>     | Diagramas ternários Zn-Al-Cu                                                                                                  | 19 |
| <b>Figura 05</b>     | Microestruturas típicas do Zamak                                                                                              | 22 |
| <b>Figura 06</b>     | Corrosão Intergranular                                                                                                        | 28 |
| <b>Figura 07</b>     | Materiais Utilizados na etapa de fusão e elaboração de ligas                                                                  | 32 |
| <b>Figura 08</b>     | Forno de Indução e tenazes utilizados no vazamento das cargas                                                                 | 32 |
| <b>Figura 09</b>     | Moldes: Viscosímetro Herty e Moldes de Fundição de Precisão                                                                   | 33 |
| <b>Figura 10</b>     | Muflas / Fornos                                                                                                               | 33 |
| <b>Figura 11</b>     | Molde de Fundição de Precisão após o vazamento do latão ao Manganês elaborado com Zamak 5 contaminado                         | 38 |
| <b>Figura 12</b>     | Estufa utilizada para ensaio de corrosão (intergranular) do Zamak 5                                                           | 39 |
| <b>Figura 13</b>     | Corpos de prova no interior da estufa                                                                                         | 39 |
| <b>Figura 14</b>     | Corpos de prova após o tratamento de corrosão / envelhecimento                                                                | 39 |
| <b>Figura 15</b>     | Detalhe dos corpos de prova após o tratamento de corrosão / envelhecimento                                                    | 39 |
| <b>Figuras 16-19</b> | Amostras como polidas dos corpos de prova em estudo. Aumento 50 vezes.                                                        | 40 |
| <b>Figuras 20-23</b> | Amostras com ataque metalográfico ( Nital 3%) . Aumento de 50 vezes.                                                          | 41 |
| <b>Figuras 24-27</b> | Amostras com ataque metalográfico ( Nital 3%) . Aumento de 50 vezes.                                                          | 42 |
| <b>Figura 28</b>     | Exemplo de Heterogeneidade da Microestrutura devido a estrutura bruta de solidificação                                        | 43 |
| <b>Figura 29</b>     | Amostra de Zamak 5 não contaminada e não envelhecida com aumento de 100 x, região central                                     | 45 |
| <b>Figura 30</b>     | Amostra de Zamak 5 não contaminada e envelhecida, com aumento de 120 x , região central                                       | 45 |
| <b>Figura 31</b>     | Amostra de Zamak 5 contaminado e não envelhecido, Região intermediária, com aumento de 100x                                   | 46 |
| <b>Figura 32</b>     | Dendritas (em profundidade) na região de porosidade da amostra de Zamak 5 não contaminada e não envelhecida. Aumento de 300x. | 46 |
| <b>Figura 33</b>     | Dendritas (em profundidade) na região de porosidade da amostra de Zamak 5 contaminada e não envelhecida. Aumento de 300x.     | 46 |

**ÍNDICE DE TABELAS**

|                    |                                                                                                  |    |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela I</b>    | Designação, Composição química para lingotes de ligas Zinco-Alumínio – Norma ABNT-P-CB-10        | 07 |
| <b>Tabela II</b>   | Designação, Composição química para peças fundidas de ligas Zinco-Alumínio – Norma ABNT-P-CB-10  | 07 |
| <b>Tabela III</b>  | Designação e Identificação comercial empregada para as ligas de zinco para fundição sob pressão  | 08 |
| <b>Tabela IV</b>   | Propriedades Físicas e Mecânicas do Zamak 5                                                      | 10 |
| <b>Tabela V</b>    | Comparação entre propriedades Físicas do Zamak 5 com outras ligas muito utilizadas em fundição   | 11 |
| <b>Tabela VI</b>   | Comparação entre propriedades mecânicas do Zamak 5 com outras ligas muito utilizadas em fundição | 11 |
| <b>Tabela VII</b>  | Materiais disponíveis para as experiências                                                       | 31 |
| <b>Tabela VIII</b> | Parâmetros utilizados na Fusão do Zamak Virgem (1ª fusão)                                        | 34 |
| <b>Tabela IX</b>   | Parâmetros utilizados na Fusão do Latão C36000 (2ª fusão)                                        | 35 |
| <b>Tabela X</b>    | Parâmetros utilizados na Elaboração do Zamak 5 contaminado (3ª fusão)                            | 36 |
| <b>Tabela XI</b>   | Parâmetros utilizados na Elaboração do Latão ao Manganês (4ª fusão)                              | 37 |
| <b>Tabela XII</b>  | Ensaio de dureza Brinell realizados nas amostras De Zamak                                        | 44 |
| <b>Tabela XIII</b> | Ensaio de Tração realizados nas amostras de Zamak                                                | 44 |

## Estudo da Reciclagem das Ligas de Zinco para Fundição (Zamak's)

### Resumo

As ligas de zinco para fundição possuem excelentes propriedades físicas e mecânicas, sendo portanto ligas com vasto campo de aplicação na área de fundição, em especial a fundição sob pressão. No entanto, a presença de contaminantes (impurezas) como chumbo, estanho, cádmio, índio e tálio são muito prejudiciais às propriedades desta liga, principalmente por favorecerem a corrosão intergranular. Apresenta-se propriedades e aplicações destas ligas, verificando sua evolução histórica e finalmente levanta-se informações sobre o processo de reciclagem das ligas Zamak, verificando sua viabilidade e possíveis alternativas.

## Study of recycling process of the zinc alloys for foundry (Zamak's)

### Abstract

The zinc alloys for foundry have excellent mechanical and physical properties, having a wide range of applications in foundry, in especial in die casting. The presence of impurities like lead, tin, cadmium, indium and gallium are very dangerous to the mechanical properties of this alloys because they cause the intercrystalline corrosion. The properties and applications of this alloys were presented, with the historical evolution and informations about the recycling process of the zinc-aluminum alloys, verifying your viability and other alternatives solutions.

## 1. INTRODUÇÃO

As ligas que utilizam zinco como metal base dividem-se em duas categorias:

- **Ligas de Zinco-Alumínio:** utilizadas em fundição, principalmente na fundição sob pressão (die casting). Possuem em geral teores de zinco superiores a 90%. O Al encontra-se em teores da ordem de 4,3%. Outros elementos de liga são o Cu e Mg.
- **Ligas de Zinco Laminado:** próprias para conformação mecânica. Teores de zinco superiores a 98%. Elementos de liga: Pb, Cd, Cu, Mg , Ti.

Cabe ressaltar que os latões são ligas onde o cobre é o metal base e o zinco é o principal elemento de liga.

O campo de aplicação das ligas de zinco-alumínio para fundição é muito vasto, como será apresentado mais adiante. Quando menciona-se liga de zinco-alumínio para fundição, praticamente cita-se exclusivamente a fundição sob pressão.

Um estudo relacionado a utilização destes materiais é importante, pois apesar de terem sido desenvolvidas novas ligas de zinco-alumínio, no Brasil continua-se empregando as ligas de zinco-alumínio desenvolvidas na década de 1930. Estas ligas apresentam excelentes propriedades tanto mecânicas como de fundição.

Mas acompanhando-se a trajetória histórica destas ligas e o conceito geral que as pessoas tem associado ao Zamak (nome da patente das ligas de zinco-alumínio mais utilizadas para fundição) verifica-se a necessidade de serem geradas mais informações sobre estas importantes ligas, ainda muito utilizadas.

Ao Zamak foi atribuído um péssimo conceito em virtude do problema de elevada fragilização, que chegou a ser conhecido como “Peste do Zamak”, decorrente da ocorrência de corrosão intergranular, fenômeno a que estão sujeitas

as ligas de zinco-alumínio, e que foi muito estudado durante a década de 20 e começo da década de 30.

A importância do levantamento de informações sobre as ligas de zinco-alumínio torna-se ainda maior atualmente em virtude da busca por otimização de custos e preocupação ambiental, sendo ambas representadas pela realização de reciclagem de materiais.

A obsolescência dos carburadores (fabricados com zamak), componentes do sistema de alimentação de automóveis, devido a utilização dos sistemas de injeção eletrônica de combustível, gera uma grande quantidade de Zamak que poderia ser reciclada, no entanto é necessário verificar as implicações disso, tendo em vista os problemas de corrosão intergranular envolvidos nesta ação.

Numa primeira busca a literatura verificou-se que informações relacionadas a reciclagem das ligas de zinco para fundição eram muito escassas, ou até mesmo inexistentes.

Visitas técnicas foram agendadas com o objetivo de obter um panorama do mercado brasileiro de ligas para fundição sob pressão. Buscou-se abranger todas as partes envolvidas neste mercado, sendo assim foram visitadas as empresas produtoras da liga, empresas consumidoras (Fundições) e empresas relacionadas diretamente com a reciclagem. A partir destas visitas foi possível constatar a importância das ligas de zinco no mercado Brasileiro de peças fundidas e obter informações para aprofundar as pesquisas a que este trabalho tem por objetivo. As visitas realizadas foram as seguintes:

- . **Companhia Paraíbuna de Metais:** Produtora de Zamak , visita realizada em 03/05/00.
- . **MICROCAST:** Consumidora de Zamak, produzindo peças para fogão, bicos de câmaras para pneus, e outras peças pequenas em Zamak. Visita realizada também em 03/05/00.



- . **ALIANÇA Metalúrgica S.A.:** Consumidora de Zamak, produzindo Reguladores de gás , componentes para fechaduras / maçanetas e rodízios. Visita realizada em 15/06/00.
- . **MINAS ZINCO:** Empresa produtora de Zamak e também atuante na reciclagem do mesmo. Visita realizada em 19/06/00.
- . **PAPAIZ / UDINESE METAIS:** A Papaiz é também uma empresa consumidora de Zamak, produzindo maçanetas e componentes de fechaduras e cadeados. A Udinese Metais, pertencente ao grupo Papaiz, produz latões para fabricação de cadeados reciclando também os refugos , canais e rebarbas das operações de injeção de Zamak da Papaiz. A visita foi realizada no dia 26/06/00, juntamente com o Professor Orientador Dr. Eduardo Camargo Oliveira Pinto.

Os relatórios referentes a estas visitas encontram-se no **Apêndice I** deste trabalho, página 51.

Nas pesquisas bibliográfias, realizadas em sua maioria no IPT-SP (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo), foram obtidas informações históricas sobre as ligas de zinco bem como estudos relacionados ao solucionamento dos problemas desta liga: a corrosão intergranular e a estabilidade dimensional, associadas a processos de envelhecimento. Alguns *abstract's* obtidos durante a pesquisa na literatura são apresentados no **Apêndice II**, permitindo-se acompanhar a evolução dos trabalhos em torno das ligas de Zinco para Fundição.

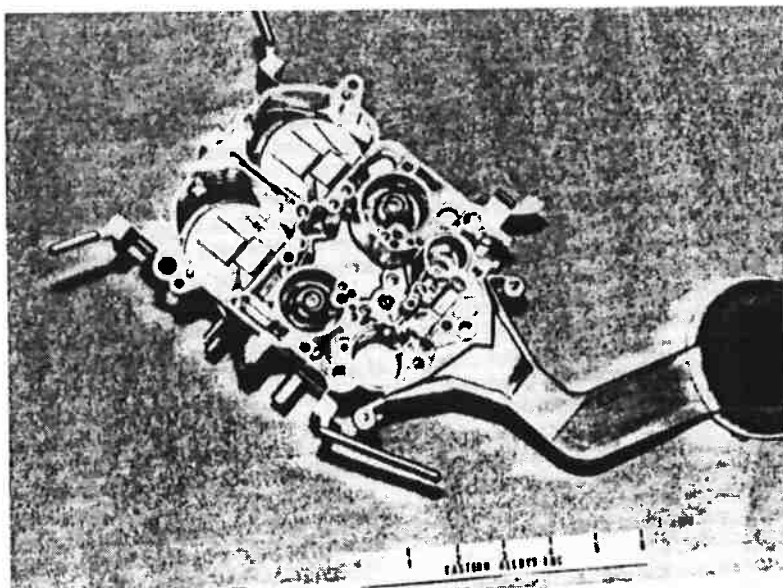
Através deste procedimento adotado, atingiu-se o objetivo deste trabalho: apresentar melhor as ligas de zinco-alumínio, caracterizando o que vem a ser o Zamak, apresentar característica gerais e específicas da liga, sob a ótica da reciclagem. A parte experimental terá um enfoque na comparação entre um Zamak puro e um Zamak contaminado, submetidos a condições favoráveis a corrosão intergranular.

## 2. AS LIGAS DE ZINCO-ALUMÍNIO

As ligas de zinco-alumínio, são exclusivamente ligas para fundição, tendo sua maior aplicação na fundição sob pressão. Nestas ligas o zinco atua como metal base, apresentando nas situações gerais teores superiores a 90%. O alumínio encontra-se tipicamente próximo a 4,3% , condição em que são otimizadas as propriedades da liga. Outros elementos de liga presentes são o cobre e o magnésio.

As ligas de zinco usadas industrialmente para fundição sob pressão são comercialmente chamadas de Zamak (nome de patente nos E.U.A), apesar de no Brasil muitos apresentarem-nas como Zamac, e na Inglaterra terem sido patenteadas como Mazak. A presença do alumínio confere as características necessárias para seu grande campo de aplicação como liga para fundição sob pressão. Entre todas as ligas não ferrosas para fundição sob pressão (*die casting*), estas ligas de zinco são as que possuem maior campo de utilização devido a suas particulares propriedades físicas, mecânicas, fundibilidade e facilidade em receber revestimentos por eletrodeposição (cobreação, niquelação e cromação) ou por pinturas com tintas e vernizes .

Uma outra vantagem do emprego das ligas zinco-alumínio está relacionada ao seu baixo ponto de fusão (aproximadamente 385°C) , o que permite aos moldes e componentes da injetora em contato com o banho uma elevada vida, permitindo assim a produção de grandes séries de peças fundidas. Além da alta usinabilidade destas ligas, tem-se uma elevada fluidez o que permite a produção de peças complexas e de paredes finas, sendo um exemplo clássico de sua aplicação os carburadores de automóveis (Figura 1).



**Figura 1:** Carburador – Componente básico dos antigos sistemas de alimentação dos Automóveis – é um exemplo típico de peça produzida em Zamak.

Além do uso em fundição sob pressão as ligas zinco-alumínio podem ser empregadas na fundição por gravidade em moldes permanentes, injeção em coquilha e até mesmo fundição em molde de areia. No entanto, sua maior utilização é em injetoras de pressão, utilizando câmara quente, pois a fundição sob pressão traz as vantagens: operação única, produção de formas complexas de peças, garante precisão dimensional, requer pouco acabamento, fabricação repetitiva e utiliza moldes permanentes.

A Composição Química das Ligas Zinco-Alumínio é definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma P-CB-10, sendo apresentada a seguir esta especificação para lingotes e peças fundidas:

**Tabela I:** Designação, Composição Química e teores máximos de impurezas para lingotes de Ligas de Zinco para Fundição sob Pressão – Norma ABNT P-CB-10

| Lingotes                         |    | Designação da Liga |           |           |           |
|----------------------------------|----|--------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                  |    | ZnAl4              | ZnAl4Cu   | ZnAl4Cu3  | ZnAl6Cu   |
| Composição Química (% Limites)   | Al | 3,9-4,3            | 3,9-4,3   | 3,9-4,3   | 5,6-6,0   |
|                                  | Cu | -                  | 0,75-1,25 | 2,5-2,9   | 1,2-1,6   |
|                                  | Mg | 0,03-0,06          | 0,03-0,06 | 0,03-0,06 | ---       |
|                                  | Zn | Diferença          | Diferença | Diferença | Diferença |
| Impurezas Permitidas (% Máximas) | Fe | 0,075              | 0,075     | 0,075     | 0,075     |
|                                  | Pb | 0,004              | 0,004     | 0,004     | 0,004     |
|                                  | Sn | 0,002              | 0,002     | 0,002     | 0,002     |
|                                  | Cd | 0,003              | 0,003     | 0,003     | 0,003     |
|                                  | Cu | 0,25               | ---       | ---       | ---       |
|                                  | Mg | ---                | ---       | ---       | 0,005     |

Fonte: Referência 01

**Tabela II :** Designação, Composição Química e teores máximos de impurezas para peças de Ligas de Zinco para Fundição sob Pressão – Norma ABNT P-CB-10

| Peças Fundidas                   |    | Designação da Liga |           |           |           |
|----------------------------------|----|--------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                  |    | ZnAl4              | ZnAl4Cu   | ZnAl4Cu3  | ZnAl6Cu   |
| Composição Química (% Limites)   | Al | 3,5-4,3            | 3,5-4,3   | 3,5-4,3   | 5,6-6,0   |
|                                  | Cu | -                  | 0,75-1,25 | 2,5-3,0   | 1,2-1,6   |
|                                  | Mg | 0,03-0,06          | 0,03-0,06 | 0,03-0,06 | ---       |
|                                  | Zn | Diferença          | Diferença | Diferença | Diferença |
| Impurezas Permitidas (% Máximas) | Fe | 0,10               | 0,10      | 0,10      | 0,10      |
|                                  | Pb | 0,005              | 0,005     | 0,005     | 0,005     |
|                                  | Si | ---                | ---       | ---       | ---       |
|                                  | Sn | 0,003              | 0,003     | 0,003     | 0,003     |
|                                  | Cd | 0,004              | 0,004     | 0,004     | 0,004     |
|                                  | Cu | 0,25               | 0,25      | 0,25      | ---       |
|                                  | Mg | ---                | ---       | ---       | 0,005     |

Fonte: Referência 01

No entanto a designação utilizada pela norma ABNT, apresentada acima não corresponde a identificação comercial utilizada, assim como também a empregada na literatura. A Tabela III relaciona as designações para as ligas de zinco para fundição sob pressão.

**Tabela III :** Designações e Identificação Comercial empregada para as Ligas de Zinco para Fundição sob Pressão.

| Designação Norma ABNT | Identificação Comercial (Brasil) | Outras Designações empregadas na Literatura |
|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|
| ZnAl                  | Zamac 3                          | Zamak 3, Mazak 3, ZA-3 , Alloy #3           |
| ZnAl4Cu               | Zamac 5                          | Zamak 5, Mazak 5, ZA-5 , Alloy #5           |
| ZnAl4Cu3              | Zamac 2                          | Zamak 2, Mazak 2, ZA-2 , Alloy #2           |
| ZnAl6Cu               | Zamac 610                        | ---                                         |

Fonte: Referência 01

No Brasil a liga mais utilizada é o Zamak 5, ao passo que nos Estados Unidos é o Zamak 3. Estão disponíveis e começam a ser utilizadas novas ligas de zinco-alumínio para fundição sob pressão, sendo estas: ZA-8, ZA-12 e ZA-27. No **Apêndice III** são apresentadas informações sobre todas as ligas de Zinco-Alumínio para Fundição.

### 3. PRODUÇÃO DAS LIGAS ZINCO-ALUMÍNIO

Sendo o zinco o componente principal das ligas zinco-alumínio para fundição, as grandes companhias associadas a produção destas ligas são exatamente as produtoras de Zinco.

No Brasil a produção de zinco está associada a dois grandes grupos, o Grupo Votorantim S.A. (Companhia Mineira de Metais) e o Grupo Paranapanema S.A. (Companhia Paraibuna de Metais). Toda a metalurgia do zinco no Brasil é realizada por hidrometalurgia, sendo utilizados minérios sulfetados e silicatados. A Companhia Mineira trabalha com ambos minérios, ao passo que a Companhia Paraibuna opera apenas com minério sulfetado, sendo este importado, pois as minas brasileiras são quase exclusivamente de minérios silicatados <sup>(11)</sup>.

A Companhia Paraibuna de Metais foi uma das empresas visitadas, tendo fornecidos dados sobre a produção de zinco e ligas de zinco-alumínio no Brasil. A Companhia Paraibuna produz cerca de 7.000 toneladas mensais de Zinco, sendo deste total aproximadamente 1.000 toneladas de ZamaK (98% correspondem a liga

Zamak 5). A usina da Paraíbuna situa-se em Juíz de Fora – Minas Gerais, contando com aproximadamente 600 funcionários. O Zamak é comercializado pela Paraíbuna na faixa de R\$ 3,50 / kg, sendo o preço definido pela cotação da Bolsa de Londres e estando na ordem de US\$ 1.100,00 / ton. Cabe ressaltar que o preço do zinco é da ordem de 10% a menos do que o das Ligas Zamak. Cerca de 1000 toneladas de zinco são exportadas pela Paraíbuna, vendidas diretamente a Bolsa de Metais de Londres.

Outra empresa que produz Zamak 5 é a Minas Zinco, também visitada, por atuar na reciclagem de Zamak. Sua produção é da ordem de 800 toneladas/mês, sendo estas produzidas a partir de zinco SHG (Special High Grade, pureza maior que 99,995%) da Companhia Paraíbuna de Metais.

O fator determinante da grande estabilidade das características mecânicas e dimensionais das peças fundidas sob pressão em ligas de zinco é a pureza dos componentes da liga <sup>(1)</sup>. O zinco utilizado no preparo da liga é do tipo “Special High Grade” com teor mínimo de 99,995% (equivalente ao tipo extra fino A ou B do projeto de norma ABNT “Zinco Primário – Especificações (P-EB-302)”).

#### 4. PROPRIEDADES DAS LIGAS ZINCO-ALUMÍNIO

De maneira geral as principais características das ligas zinco-alumínio são:

- . Boas propriedades mecânicas
- . Propriedades antifricção
- . Facilidade de fabricação
- . Baixo consumo de energia
- . Excelente acabamento superficial
- . Boa resistência à corrosão
- . Resistência ao centelhamento
- . Propriedades não-magnéticas

No entanto, estas ligas estão sujeitas a dois graves problemas: o envelhecimento e a corrosão intergranular. O envelhecimento corresponde a decomposição de fases metaestáveis implicando em instabilidade dimensional e redução da tenacidade. A Corrosão intergranular foi um grande obstáculo para viabilizar o uso destas ligas pois o material tornava-se muito frágil. Estes dois problemas serão abordados mais detalhadamente nos tópicos relacionados a efeito dos elementos presentes na liga e microestrutura e também nos tópicos relacionados a reciclagem.

Tratando-se o consumo nacional de ligas de zinco-alumínio para fundição quase exclusivamente de Zamak 5 (cerca de 98%, segundo informações da Companhia Paraíbuna) , são apresentadas na tabela a seguir as principais propriedades deste material.

**Tabela IV:** Propriedades Físicas e Mecânicas do Zamak 5.

|                               | <b>Propriedade</b>                                                         | <b>Zamak 5</b>      |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Propriedades Físicas</b>   | Densidade                                                                  | 6,7                 |
|                               | Intervalo de Solidificação (°C)                                            | 380-386             |
|                               | Retração (%)                                                               | 4-5                 |
|                               | Coeficiente de dilatação (1/°C)                                            | $27 \times 10^{-6}$ |
|                               | Condutibilidade elétrica a 10°C ( S/m)                                     | 15,3                |
|                               | Condutibilidade térmica a 16°C ( cal/s/cm <sup>2</sup> /cm/°C)             | 0,26                |
|                               | Calor Específico (cal/g/°C)                                                | 0,10                |
|                               | Calor Latente de Fusão (cal/g)                                             | 25                  |
| <b>Propriedades Mecânicas</b> | Limite de resistência (à tração) -(kgf/mm <sup>2</sup> )                   | 30-34               |
|                               | Limite de escoamento - (kgf/mm <sup>2</sup> )                              | 29-33               |
|                               | Módulo de elasticidade                                                     | 9.600               |
|                               | Alongamento (%)                                                            | 3-6                 |
|                               | Resistência ao choque – Charpy - (kgm/cm <sup>2</sup> )                    | 10,5-12,5           |
|                               | Resistência à compressão - (kgf/mm <sup>2</sup> )                          | 60                  |
|                               | Resistência ao cisalhamento - (kgf/mm <sup>2</sup> )                       | 27                  |
|                               | Resistência à fadiga, para 10 <sup>8</sup> ciclos - (kgf/mm <sup>2</sup> ) | 5,7                 |
|                               | Dureza Brinell ( esfera de 10mm, carga de 500 kg) - (kgf/mm <sup>2</sup> ) | 85-95               |

Fonte: Referência 01

#### 4.1 Comparação do Zamak com outras ligas para Fundição

A fim de verificar como as propriedades das ligas de Zinco-Alumínio, em especial o Zamak 5, a liga mais utilizada, são interessantes, nas Tabelas V e VI, são realizadas comparações entre o Zamak 5 e outras ligas comumente utilizadas em fundição.

**TABELA V:** Comparação entre propriedades físicas do Zamak 5 (liga Zamak mais utilizada no Brasil) com outras ligas muito utilizadas em fundição.

| Propriedades                               | Zamak 5 | Alumínio 380 | Bronze SAE 660 | FoFo cinzento classe 30 |
|--------------------------------------------|---------|--------------|----------------|-------------------------|
| Densidade                                  | 6,7     | 2,74         | 8,93           | 6,95                    |
| Intervalo de Solidificação – (°C)          | 386-380 | 595-540      | 975-855        | > 1170                  |
| Contração de solidificação – (%)           | 1,17    | 6            | ---            | 1,05                    |
| Coeficiente de dilatação Térmica – (W/m.K) | 108,9   | 96,2         | 59             | 49-52                   |
| Condutividade Elétrica - % IACS            | 26      | 27           | 21             | 2,1                     |
| Resistividade Elétrica                     | 6,54    | 6,4          | 14,4           | 82                      |

Fonte: Referência 02

**TABELA VI:** Comparação entre propriedades mecânicas do Zamak 5 (liga Zamak mais utilizada no Brasil) com outras ligas muito utilizadas em fundição.

| Propriedades                               | Zamak 5 | Alumínio 380 | Bronze SAE 660 | FoFo Cinzento classe 30 |
|--------------------------------------------|---------|--------------|----------------|-------------------------|
| Limite de Resistência à Tração - (MPa)     | 328     | 325          | 240            | 214                     |
| Limite de Escoamento - (MPa)               | ---     | 160          | 125            | 125                     |
| Limite de resistência à Compressão - (MPa) | 600     | ---          | 125            | 125                     |
| Alongamento - (%)                          | 7       | 3,5          | 20             | 0                       |
| Dureza Brinell (500kg)                     | 91      | 80-85        | 65             | 210                     |
| Resistência ao impacto - (J)               | 65,1    | 4            | 8              | ---                     |
| Resistência à Fadiga - (MPa)               | 56,5    | 138          | 110            | 97                      |

Fonte: Referência 02

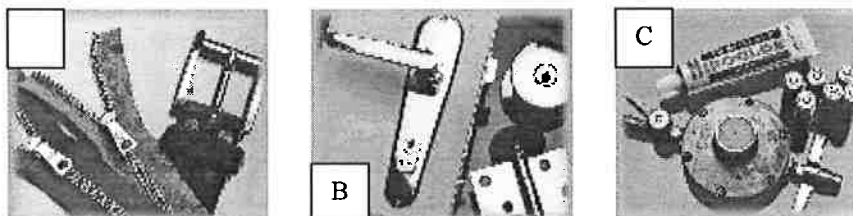


## 5. APLICAÇÕES DAS LIGAS ZINCO-ALUMÍNIO

Devido as propriedades anteriormente discutidas as ligas zinco-alumínio podem ser utilizadas numa vasta gama de aplicações. Por critério de organização estas foram agrupadas em alguns grupos para facilitar a visualização:

- . **Indústria Automobilística:** Grades de radiadores , armação de lanternas , maçanetas , retrovisores , fechaduras , corpos de instrumentos , corpos de bombas , tampas de tanques , botões de instrumentos , engrenagens de instrumentos , armações de limpadores de pára-brisas , etc;
- . **Eletrodomésticos:** Corpos de liquidificadores , batedeiras , aspiradores , ventiladores , grades de rádios e televisores , componentes de relógios , etc;
- . **Ferragens :** Maçanetas , dobradiças , rodas , etc;
- . **Equipamentos Elétricos:** Coberturas de motores , roldanas , engrenagens , caixas terminais , botões de controle , etc;
- . **Diversos:** Reguladores e válvulas para GLP , mancais , brinquedos , etc.

A seguir são apresentados alguns componentes produzidos com ligas zinco-alumínio.



**Figura 02:** Exemplos de peças produzidas em Zamak  
(A) Zippers, Fivelas, enfeites.  
(B) Maçanetas, dobradiças, fechaduras.  
(C) Reguladores de GLP, etc.

## 6. EVOLUÇÃO DAS LIGAS ZINCO-ALUMÍNIO:

As ligas de zinco tem sua história quase exclusivamente relacionadas ao seu emprego como ligas para fundição sob pressão. Evans <sup>(3)</sup> apresenta a evolução destas ligas, que é discutida a seguir.

Inicialmente a história das ligas para fundição sob pressão começa com o emprego do estanho na produção de peças para máquinas de escrever. No entanto devido a questões de custo houve a necessidade de utilizar-se uma material de menor custo. Iniciou-se a produção de ligas de estanho com outros metais , chegando-se a uma liga com 6% Sn , 3% Cu , 0,5% Al e o restante de zinco. Esta liga tinha como principal vantagem a estabilidade dimensional obtida graças ao elevado teor de zinco empregado.

A adição de alumínio tinha o intuito de reduzir o ataque do zinco líquido nos componentes da injetora, estes em geral de ferro fundido. Devido a constatação que maiores teores de alumínio aumentavam a fluidez, ou de forma mais geral, a fundibilidade da liga, houve um novo desenvolvimento nas ligas para fundição sob pressão, devido ao enorme aumento do campo de aplicação das mesmas. Removeu-se todo o estanho da composição das ligas e partiu-se para uma liga de zinco com 5% Cu e mais de 10% de Al. Esta liga no entanto apresentava sérios problemas particularmente em atmosferas úmidas, sendo suscetível a expansões, trincas, distorções e até mesmo desintegração. Este comportamento denegriu de forma muito séria a imagem das ligas para fundição sob pressão, não só as com base no zinco, como também as baseadas no estanho e no alumínio, mesmo sendo estas últimas não suscetíveis a este problema.

A New Jersey Zinc Company iniciou uma série de estudos visando resolver os problemas das ligas de zinco, basicamente relacionados com estabilidade dimensional e corrosão. Através desses estudos houve um grande progresso nas ligas de fundição sob pressão com base no zinco, sendo publicado em 1922 um artigo dos pesquisadores Brauer e Pierce, cujo título é "The effect of impurities on the oxidation and swelling of Zinc-Aluminium Alloys", relacionando os problemas

dimensionais e de oxidação às impurezas ( estanho, chumbo e cádmio ) presentes no zinco utilizado para elaboração das ligas para fundição de pressão, destacando-se assim a necessidade da utilização de Zinco High-Grade na produção destas. Até estes estudos nenhuma atenção era dada a qualidade do zinco utilizada na elaboração das ligas de zinco para fundição, sendo utilizadas quaisquer sucatas de zinco na produção das ligas. Era comum teores de chumbo da ordem de 0,05% e de Cádmio, de 0,02%. O Zinco mais puro utilizado (disponível) era 99,90%.

Porém em 1923 , a New Jersey Zinc Company produziu uma liga denominada 4-3 alloy (contendo 4% de Alumínio e 3% de Cobre) , com zinco 99,90%, marcando o começo da padronização das ligas de zinco para fundição. Esta liga foi largamente utilizada, porém continuava susceptível a corrosão intergranular, o que limitava sua aplicação. Os estudos dos efeitos da adição de elementos a liga continuaram sendo realizado na busca da solução para este problema. Verificou-se que adições de magnésio reduziam a tendência a corrosão Intergranular e foi assim desenvolvida a liga 4-3-0,1 , contendo além dos 4% de Alumínio e 3% de Cobre, 0,1% de Magnésio, sendo o restante de zinco com a maior pureza possível naquela época, o já citado 99,90%. Já era sabido que o emprego de zinco com maior grau de pureza impedia a corrosão intergranular, devido a experiências realizadas em laboratório com zinco 99,993%, porém ainda não era viável a produção em larga escala de zinco com esta pureza. Tão logo foi possível a produção de Zinco 99,99% (o zinco High Grade) , o uso da liga 4-3-0,1 foi consolidado, a corrosão intergranular havia sido evitada, sendo esta liga patenteada como Zamak 2.

Uma questão muito estudada nas ligas de zinco para fundição diz respeito a relação entre o envelhecimento, proveniente da decomposição de fases metaestáveis, e sua relação com o fenômeno de corrosão intergranular. O envelhecimento implica numa redução da resistência da liga e em pequenas mudanças dimensionais, e acreditava-se relacionado a adição de cobre. Porém teores de cobre foram testados e verificou-se seu efeito aumentando a resistência do material tanto mecânica quanto relacionada a corrosão intergranular, e seu uso

era indispensável , mesmo quando utilizado magnésio, nas ligas que utilizavam zinco com pureza inferior a 99,90%.

Utilizando-se zinco 99,99% (Zinco HG) elaborou-se uma liga isenta de cobre, a liga 4-0,1 (4% Al – 0,1% Mg) , que também era isenta de corrosão intergranular, sendo patenteada em 1930 pela New Jersey Company como Zamak 3.

O uso de Zinco 99,99% marcou uma redução na necessidade de magnésio para prevenção da corrosão intergranular, ficando definido um teor de 0,03% Mg para o Zamak 2 , e 0,04 % Mg para o Zamak 3. Para aplicações onde tempo de vida e resistência são requisitos secundários (como brinquedos e enfeites) foi desenvolvido o Zamak 4 , em 1931, que garantia alta fundibilidade e produtividade. Sua composição é idêntica à do Zamak 2, porém não utiliza-se magnésio, apenas o zinco high grade (Zinco HG), o que aumenta muito a fundibilidade da liga permitindo altas velocidades de injeção.

Seguindo a tendência da liga Zamak 3, isenta de cobre, estudos foram feitos visando buscar uma situação intermediária entre o Zamak 2 e o Zamak 3, em termos de teor de cobre a fim de otimizar as propriedades da liga. O Zamak 2 é mais resistente, no entanto após o envelhecimento o Zamak 3 mantém melhores propriedades. Verificou-se que o melhor compromisso entre as propriedades ocorre em teores próximos a 1% de cobre. Em 1932 foi patenteado o Zamak 5, com composição Zn - 4%Al - 1%Cu – 0,3% Mg.

No mesmo ano o Zamak 4 foi substituído pelo Zamak 6, reduzindo-se o teor de cobre de 3% para 1,5%.

A palavra Zamak é a trade mark da New Jersey Zinc Co., U.S.A. , utilizada para ligas de zinco padronizadas; estas utilizavam zinco High Grade , com 99,99+ % de pureza. Na Inglaterra o Zamak foi patenteado sob o nome de Mazak, respeitando-se as composições.

## 7. EFEITO DOS ELEMENTOS NAS LIGAS DE ZINCO-ALUMÍNIO

Neste item serão discutidos os efeitos dos elementos presentes nas ligas zinco-alumínio como componentes e também como contaminantes, com base nas informações da literatura <sup>(1,2,3,4)</sup>.

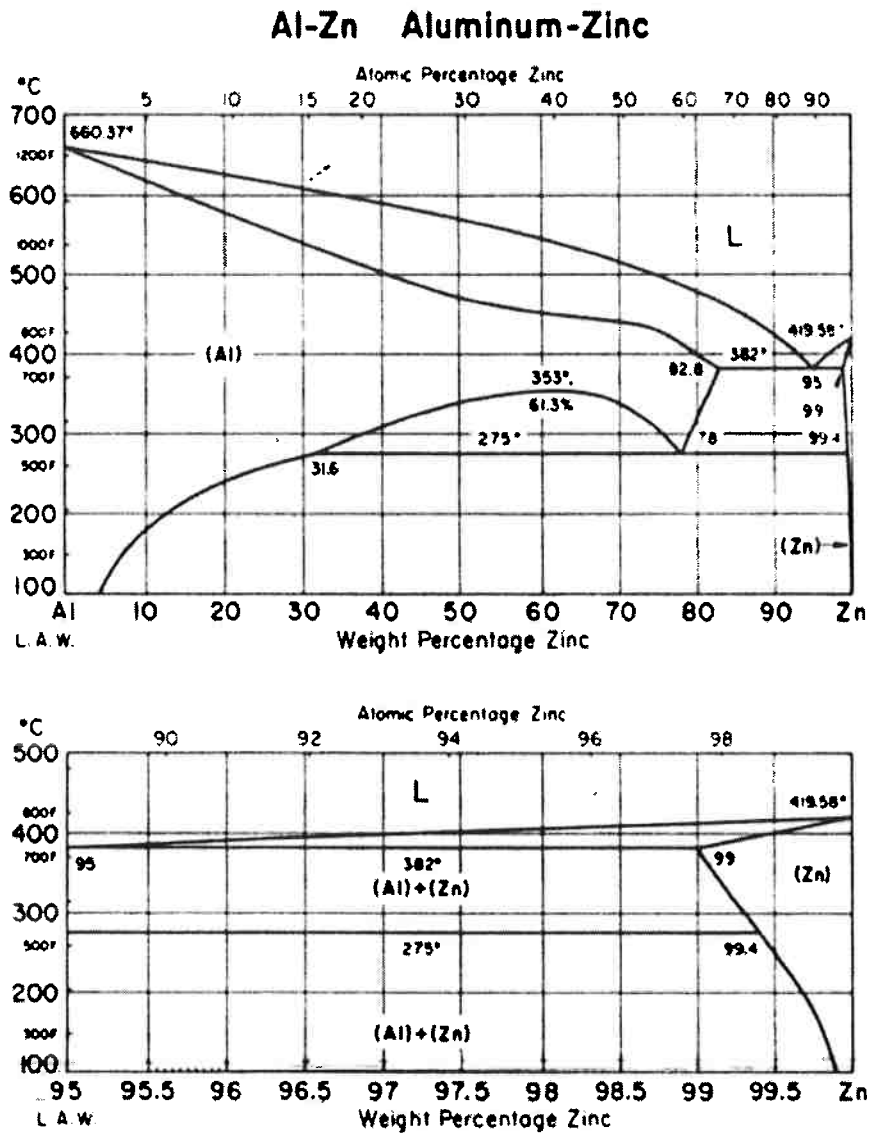
### 7.1. Alumínio:

Reduz a solubilização do ferro no banho líquido reduzindo o ataque aos componentes da injetora, permitindo reprocessar os canais. Para esta finalidade é necessário um teor mínimo de 0,5%. Exerce grande influência refinando o tamanho de grão do zinco, aumentando assim consideravelmente as propriedades mecânicas. O aumento na fundibilidade (capacidade de preencher completamente o molde, garantir bom acabamento superficial e reprodução adequada de detalhes), muito relacionada a fluidez, é decorrente do aumento do teor de alumínio.

Acima de 4,3% a resistência mecânica é reduzida e a 5,0% a liga torna-se frágil. Abaixo de 3,7% a fluidez e a resistência mecânica diminuem.

Um fator crítico associado ao alumínio é a corrosão intergranular. No zinco puro este fenômeno não ocorre, como pode ser observado, pois nas ligas de zinco para conformação mecânica, os contaminantes das ligas zinco-alumínio (que causam a corrosão intergranular) são considerados elementos de liga.

Conforme o diagrama de fase Zinco-Alumínio ( Figura 03 ), um eutético lamelar é formado com concentrações de 5% de alumínio, tendo como produtos uma fase rica em Alumínio (.) e uma fase rica em Zinco (.) . A temperatura deste eutético é de 382°C. A fase . é estável apenas em temperaturas acima de 275°C, decompondo-se a baixas temperaturas, através de uma reação eutetóide, em . ( com menor teor de Zinco) e .. No eutético a solubilidade do alumínio na fase . é da ordem de 1%, porém nas peças fundidas o teor de alumínio cai para cerca de 0,10% no eutético formado nas regiões interdendríticas.



Fonte: Referência 06

**Figura 03:** Diagrama de Fase Zn-Al, segundo ref. (6)

O alumínio age como um refinador de grão nas ligas de zinco. Isto associado às altas taxas de resfriamento da fundição sob pressão implica numa estrutura de grão equiaxiais muito finos, resultando num material de elevada resistência, ductilidade e tenacidade.

Quando uma peça é injetada e envelhecida, a temperatura ambiente ou em um forno, ocorre precipitação de alumínio na fase rica em zinco (.). Logo após a injeção a fase . pode conter 0,35% de Alumínio, no entanto trata-se de uma situação metaestável. Em aproximadamente cinco semanas (a temperatura ambiente) este teor de alumínio cai para 0,05%, devido a precipitação de alumínio, na forma de pequena partículas da fase . na estrutura da fase .. Este tempo de precipitação pode ser reduzido para apenas algumas horas através de tratamento térmico a temperaturas da ordem de 100°C (Tratamento térmico de envelhecimento). Estes mesmos fenômenos também são observados nas ligas zinco-alumínio contendo cobre. Para garantir-se uma maior estabilidade dimensional, utiliza-se o tratamento térmico de envelhecimento.

## **7.2. Cobre:**

A adição de cobre aumenta a resistência à corrosão , a resistência mecânica e a dureza da liga. Em teores acima de 1,25% a liga apresenta instabilidade dimensional e queda de propriedades mecânicas ao longo do tempo devida ao fenômeno de envelhecimento , reduzindo sua resistência ao impacto. Para aplicações que exigem alta precisão dimensional deve-se usar liga isenta de cobre (como o Zamak 3).

O cobre forma solução sólida no zinco para teores de aproximadamente 1%, resultando uma estrutura com zoneamento (segregação). Nas ligas de zinco-alumínio, nestes mesmos teores, precipita-se como fase ., que é interdendrítica .

Como o Zamak 5, a liga mais utilizada no Brasil é composta por Zn-Al-Cu, alguns diagramas ternários envolvendo estes materiais não poderiam deixar de ser apresentados. A figura 04, da próxima página, apresenta estes ternários para o sistema Zn-Al-Cu.

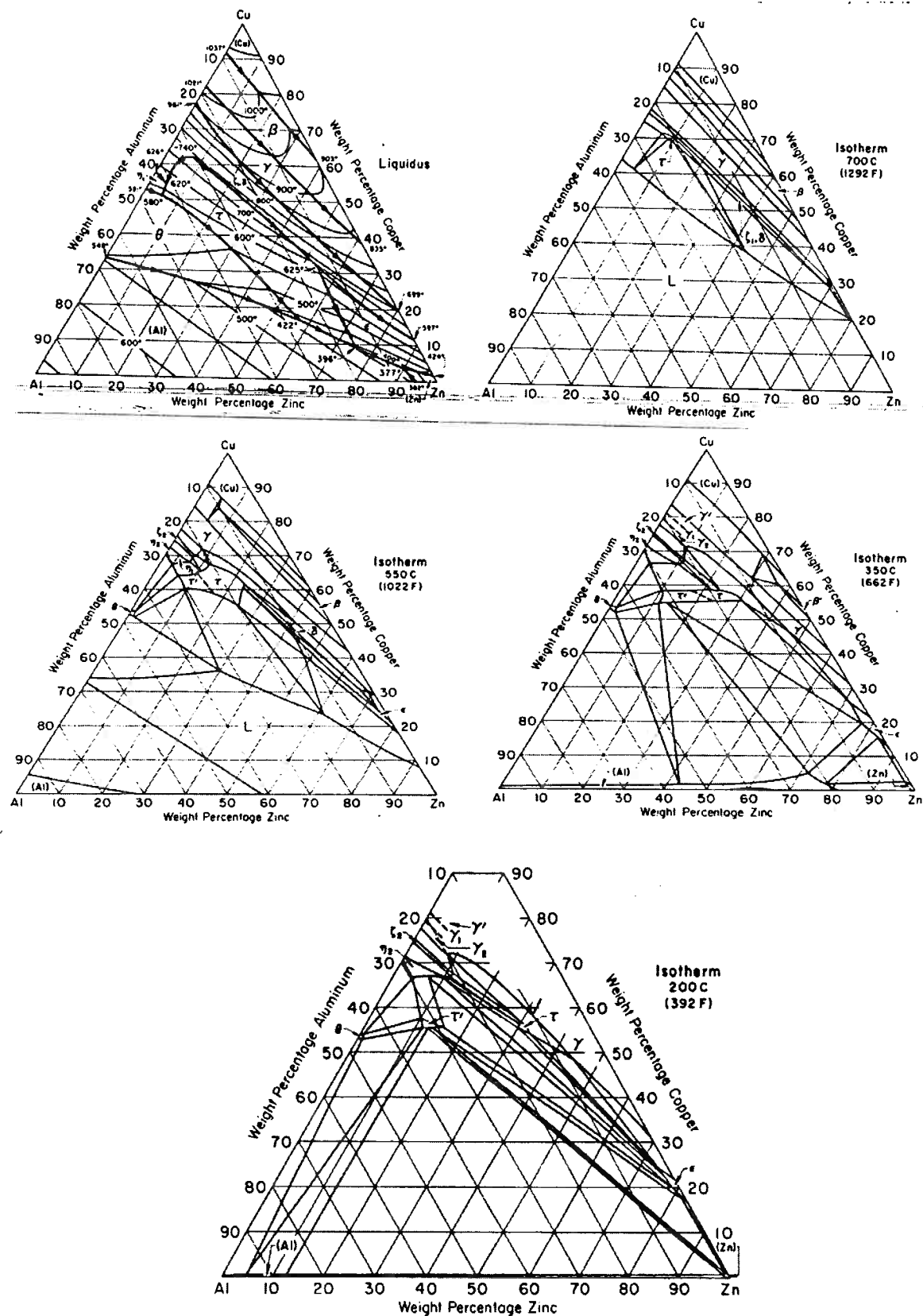


Figura 04: Diagramas de Fase Zn-Al-Cu, segundo ref. (6)



### **7.3. Magnésio:**

São realizadas adições de magnésio em teores da ordem de 0,01% a 0,03% , com intuito de reduzir a tendência a corrosão intergranular, pois ele combina-se com os eutéticos do chumbo , cádmio e estanho nos contornos dos grãos, reduzindo a diferença de potencial entre o zinco e o eutético <sup>(2)</sup>. Além disso ocorre um aumento da resistência e dureza do material, associado também a um decréscimo na ductilidade. Em teores acima de 0,06% o magnésio causa fragilidade a quente , o que pode ser crítico na produção de peças complexas onde não existe espaço suficiente na ferramenta para permitir a sua contração. Como não está definido o exato mecanismo de corrosão intergranular das ligas Zinco-alumínio, Morgan <sup>(5)</sup> cita que o magnésio protege a liga da corrosão intergranular pois forma o composto estável  $MgZn_5$  , que acaba aumentando a resistência a corrosão dos contornos de grão pois este composto fornece uma barreira à penetração da umidade.

### **7.4. Impurezas:**

As impurezas chumbo, cádmio e estanho estão invariavelmente associadas ao minério de zinco, sendo necessárias operações de refino para garantir que os teores desses elementos não ultrapassem os limites previstos em norma, que garantem a não ocorrência da corrosão intergranular.

#### **7.4.1. Chumbo:**

A solubilidade do chumbo em zinco sólido é extremamente limitada. Forma-se um monotético a 418°C e uma fase contendo 0,9% de chumbo , cristais de zinco e líquido existem em equilíbrio até a temperatura do eutético , que é de 318°C. Como resultado o chumbo aparece nas ligas de zinco nos contornos das dendritas, na forma de pequenas esferas ou de filmes. Devido a esta disposição, muito cuidado deve ser tomado durante o polimento de amostras para não retirar as partículas de chumbo, que são muito moles. Nas ligas de zinco-alumínio o chumbo

induz a corrosão intergranular, sendo necessário manter sua concentração inferior a 0,004 % (ou 40 ppm).

#### **7.4.2. Cádmio:**

Outra impureza presente na maioria dos produtos comerciais de zinco. Não causa mudanças na microestrutura do material, porém age como nucleante na estrutura bruta de fusão. É encontrando formando solução sólida. Nas ligas de zinco alumínio reduz a resistência a corrosão intergranular, devendo ser controlada sua concentração em teores inferiores a 0,003 ( ou 30 ppm).

#### **7.4.3. Ferro:**

O ferro é introduzido através da reação do banho com o cadinho ou como contaminante do alumínio . Em teores até 0,1% tem pouca influência nas propriedades mecânicas . Para teores maiores os compostos intermetálicos ferro-alumínio podem acumular mais facilmente no banho e serem aprisionados na peça injetada causando problemas de usinagem posterior ou de revestimento superficial. Quando sua concentração é superior a 0,001 %, forma um composto intermetálico com aproximadamente 6% de Ferro. O tamanho deste composto depende tanto da concentração de ferro presente como da história térmica a que foi submetido o material. Assim como o chumbo, este composto intermetálico precipita-se também nos contornos das dendritas. Nas ligas de zinco-alumínio forma partículas de  $\text{FeAl}_3$  , que implicam numa diminuição da ductilidade.

#### **7.4.4. Estanho:**

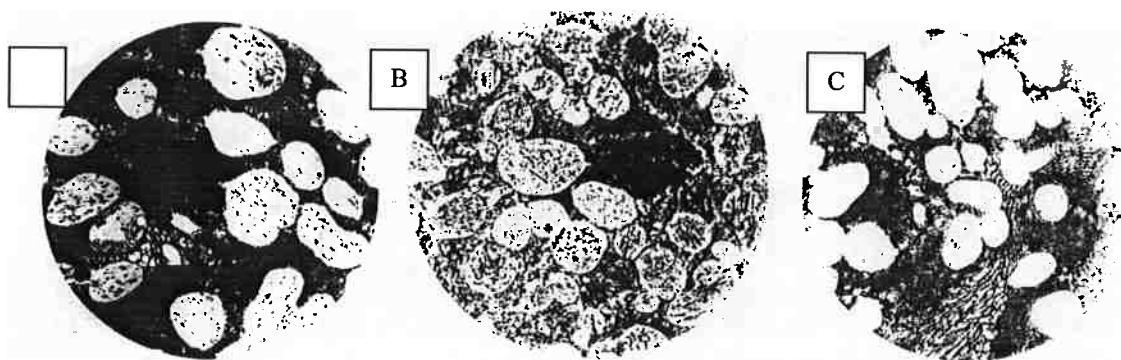
O estanho forma com o zinco um eutético com concentração de 91% de Sn a temperatura de 198°C. A solubilidade do estanho no zinco é muito restrita e o eutético Zn-Sn aparece em ligas com teores de estanho tão pequenos quanto 0,001%. Nas ligas de zinco-alumínio o estanho atua também como um indutor da corrosão intergranular, devendo-se limitar seu teor em valores inferiores a 0,002%.

## 8. MICROESTRUTURA DAS LIGAS ZINCO-ALUMÍNIO

Analizando-se por exemplo a estrutura da liga Zamak 3 <sup>(1)</sup>, contendo 4% de alumínio, verifica-se após completada a solidificação, cristais hexagonais primários da fase rica em Zinco ( 98,86% Zn ) , envolvidos por uma matriz eutética lamelar, constituída desta fase e de uma segunda fase rica em alumínio (17,2% Al) que é cúbica de corpo centrado.

No resfriamento da liga estas duas fases precipitam o excesso do soluto e a 272°C, suas composições são respectivamente, 99,3 % Zn – 0,70% Al e 78% Zn – 22% Al. Nesta temperatura a fase rica em alumínio sofre uma transformação eutetóide, decopondo-se na fase rica em zinco e numa fase com composição 31,6% Zn – 68,4% Al. A fase rica em alumínio do eutetóide resfria-se até a temperatura ambiente retendo um excesso de zinco em solução. Já a fase rica em zinco continua a precipitar alumínio até a temperatura ambiente e posteriormente, por cerca de três anos, até que permaneça em solução 0,04% de alumínio, que corresponde ao teor de equilíbrio desta fase a temperatura ambiente.

Comportamento análogo é observado nas demais ligas hipoeutéticas, usualmente empregadas na fundição sob pressão, apesar das variações induzidas pela adição de elementos de liga e impurezas. A sequência de solidificação apresentada corresponde ao comportamento geral das ligas de zinco para fundição.



**Figura 05:** Microestruturas Características das ligas de Zinco-Alumínio. A-) Zamak 3, como fundido; B-) Zamak 3 envelhecido – tratamento térmico de envelhecimento a 100°C; C-) Zamak 5 como fundido. As regiões claras correspondem as dendritas da fase rica em zinco, e as regiões escuras ao eutético. Em B, nas dendritas aparecem os precipitados da fase rica em alumínio. Aumento de 1000 vezes, ataque metalográfico com ácido crômico.

## 9. RECICLAGEM DAS LIGAS ZINCO-ALUMÍNIO:

Um dos problemas que surge ao tentar simplesmente refundir o Zamak é o aumento do teor de impurezas, estas que prejudicam muito as propriedades mecânicas destas ligas como mencionado anteriormente. Logo que estas ligas foram desenvolvidas havia um sério problema de resistência, sendo as mesmas muito frágeis. Após uma série de estudos verificou-se que esta liga é muito suscetível a corrosão intergranular, sendo a mesma induzida pelas impurezas que frequentemente eram encontradas na composição química da liga; estes contaminantes ( impurezas ) são: chumbo, estanho , cádmio, índio e tálio.

Devido ao aumento do teor de contaminantes durante o processo de reciclagem é necessário estudar um processo eficiente para reciclar as ligas Zamak, controlando a composição da mesma e em especial o teor das impurezas já mencionadas. Esta preocupação deve ser maior principalmente para sucatas mais antigas, pois o teor destas impurezas provavelmente encontram-se mais elevados, devido as tecnologias empregadas na produção dos Zamak, em especial o uso de Zinco HG (High Grade) ao invés do Zinco SHG (Special High Grade)

Através das observações realizadas nas visitas técnicas foi possível criar um panorama da situação da reciclagem do Zamak no Brasil.

O Zamak por possuir um vasto campo de utilização para produção de peças fundidas, devido às suas excelentes propriedades, possui um mercado ativo no que tange a sua reciclagem.

Conforme mencionado anteriormente esta liga é muito sensível aos elementos contaminantes, sendo necessário manter os teores destes elementos na ordem de 40 ppm, para que não se manifeste a corrosão intergranular, principal problema das ligas de zinco-alumínio. Esta restrição de composição implica em problemas durante a reciclagem do Zamak.

Através das visitas realizadas, pode-se observar o procedimento das empresas que utilizam Zamak 5 no que tange a reciclagem, que abrange canais de enchimento, rebarbas e peças refugadas. Verificou-se a existência de dois procedimentos:

- . Reciclagem Interna
- . Reciclagem Externa

A reciclagem interna consiste no processamento na própria empresa dos canais, rebarbas e refugos. Neste tipo de reciclagem existe a reciclagem diretamente no cadinho da injetora, em caso de pequenas fontes de contaminação e exigências não muito elevadas no fundido. Esta reciclagem direto no cadinho da injetora consiste em retornar os canais de injeção, após a retirada da peça, novamente no cadinho da injetora para reutilização na produção de novas peças. A principal fonte de contaminação neste caso está associada ao uso de desmoldante, usualmente um óleo, aplicado ao molde para facilitar a retirada do fundido do molde.

Segundo o Metals Handbook <sup>(7)</sup>, a reciclagem de canais pode ser feita diretamente no cadinho até o limite de 50% do volume do cadinho das injetoras, garantido-se assim sempre a utilização de pelo menos 50% de Zamak virgem. Nesta reciclagem direta, deve-se tomar cuidado com contaminações diretas como óleo e outros detritos, como cavacos de ferro ou outros materiais.

Uma outra modalidade de reciclagem interna diz respeito à refusão em forno para posterior lingotamento do Zamak. Neste processo estão envolvidas rebarbas, cavacos, canais e peças refugadas. É necessário um controle de composição do banho e eventuais correções da mesma, exige-se portanto a utilização de aparelhos de análise de composição para verificar se a mesma encontra-se ou não dentro das especificações. Normalmente os fornos de refusão são a gás. Deve-se ressaltar neste tipo de operação o problema da emissão de gases, em especial os vapores de zinco devido a sua elevada pressão de vapor. Com um correto controle de composição o Zamak refundido poderia ser novamente utilizado como material virgem, no entanto em algumas empresas, como é o caso da Aliança Metalúrgica, que pode ser verificado nos relatórios das visitas técnicas ( **Apêndice I** ), houveram problemas na utilização deste material reciclado, sendo assim sua utilização é realizada com restrições. Quando o Zamak encontra-se fora das especificações, e

não é possível a correção da composição simplesmente por adição de elementos de liga, o Zamak não pode ser reutilizado.

A reciclagem externa envolve empresas especializadas em reciclar Zamak. No Brasil, a mais importante empresa neste segmento é a Minas Zinco S.A., que além de reciclar Zamak, também o produz, com uma produção de 800 toneladas mês, portanto grande se comparada com a produção da Companhia Paraibuna de Metais S.A., que é de 1000 toneladas mês. As empresas de reciclagem atuam de duas formas. Em ambas as formas são instaladas caçambas para recolhimento dos canais, rebarbas e rejeitos na empresa cliente. Esta pode simplesmente trocar o material a ser reciclado por material virgem, utilizando uma quebra da ordem de 20 a 25%, ou seja, esta porcentagem é considerada como perda devido a fusão na reciclagem e nesta diferença reside o lucro da empresa especializada em reciclagem. A outra forma é contratar apenas o serviço de refusão a um preço fixo por kg de material refundido, estando envolvida também perdas de fusão, no entanto muito menores; são realizadas adições dos elementos de liga para eventualmente corrigir a composição do Zamak.

Para a empresa recicladora, muitas vezes é interessante possuir Zamak fora da composição especificada por norma. Este Zamak é comercializado a valores mais baixos e consumido por pequenas fundidoras, que produzem brinquedos e enfeites, portanto itens com baixíssimos requisitos de resistência. Este Zamak com teores de impurezas elevados é conhecido como Zamak Pack.

Para estes Zamak's fora de composição uma das aplicações é seu uso na elaboração de latões TM-60 (que possui especificação com elevada tolerância de impurezas), para fundição de objetos decorativos e não sujeitos a solicitações mecânicas.

Uma outra possibilidade de aplicação mais nobre para estes Zamak fora de especificação e eventualmente para utilização de sucata de Zamak, sem seu controle de composição, permitindo assim uma reciclagem mais econômica e até lucrativa do Zamak, consiste na produção de Latões para fundição, com uso geral, ou seja, podendo ser utilizado em fundição em coquilha, moldes de areia ou até para fundição sob pressão em injetoras de câmara fria.

Como os latões utilizam elementos caros como Cu e Zn, atualmente na sua elaboração procura-se utilizar sucata dos mesmos quando possível, como pode ser verificado na Papaiz S.A. . A sucata de Zamak devido a sua não aplicabilidade é relativamente de menor custo, o que permitiria uma redução no preço final do Latão a ser produzido utilizando Zamak.

Os contaminantes do Zamak em geral são elementos de ligas para muitos latões, sendo assim, o aumento em seus teores devido a reciclagens torna-se não importante. Para selecionar o latão a ser elaborado, utilizou-se informações do Metals Handbook <sup>(7)</sup>, onde foram procurados dentre os Latões para fundição aqueles que possuíam teores de Zn-Al compatíveis com o Zamak, a fim de maximizar sua utilização e reduzir o consumo de Zn na elaboração do latão.

Verificou-se que Latões com Zn-Al são latões de elevada resistência, sendo o que forneceria melhor composição para a utilização de Zamak é o Latão ao Manganês. A composição do mesmo é apresentada a seguir:

#### **Latão ao Manganês ( 65 kpsi ) - ASTM: B147, alloy 8 A**

**57,5 Cu - 39,25 Zn - 1, 25 Fe - 1,25 Al - 0,25 Mn**

Neste latão 75 % do Zinco e todo o alumínio podem ser fornecidos através da utilização do Zamak 5, efetuando assim a reciclagem do mesmo, sem preocupações grandes quando a composição química do zamak 5 empregado.

No latão ao manganês, o Al e Mn tem função de elevar resistência mecânica, sendo no entanto a liga com Mn mais facilmente trabalhável. O Fe tem função de refinamento de grão.

Maiores informações sobre o latão ao Manganês são apresentadas no **Apêndice IV**.

### **9.1. Corrosão Intergranular**

O mecanismo preciso pelo qual processa-se a corrosão intergranular ainda não é bem conhecido, porém está relacionado ao teor em que são encontradas

certa impurezas, em especial o chumbo e o cádmio. A susceptibilidade a este tipo de corrosão é maior em ambientes quentes e úmidos. Utilizando-se Zinco High Grade, ou 99,99%, garante-se que os teores destas impurezas sejam extremamente baixos impedindo-se a manifestação da corrosão intergranular.

Uma das teorias é defendida por Brecianni <sup>(1)</sup> e diz que as impurezas como mencionado anteriormente são metais de alta densidade e baixo ponto de fusão, portanto estando presentes, serão as últimas a solidificarem, segregando-se nos contornos de grão. Esta rede de metais, relativamente mais nobres que o zinco, ao longo dos contornos de grãos do zinco (que contém também alumínio ligado) produz um grande número de células eletroquimicamente ativas, quanto a superfície do metal entra em contato com a umidade ambiente. Nesta situação, o zinco mais eletronegativo e imediatamente adjacente ao contorno de grão é atacado dando origem a corrosão intergranular.

Já Morgan <sup>(5)</sup> afirma que o magnésio forma o composto estável  $MgZn_5$ , que acaba aumentando a resistência a corrosão dos contornos de grão pois fornece uma barreira para penetração da umidade, nos contornos de grão.

No entanto, existe a hipótese de que a corrosão intergranular pode estar associada ao envelhecimento da liga. Esta teoria é defendida nas ref. (3) e (9). O argumento para tal afirmação reside no fato que a corrosão intergranular manifesta-se apenas nas ligas zinco-alumínio, sendo o zinco imune a este tipo de corrosão, quando na forma pura, mesmo com os teores de contaminantes elevados.

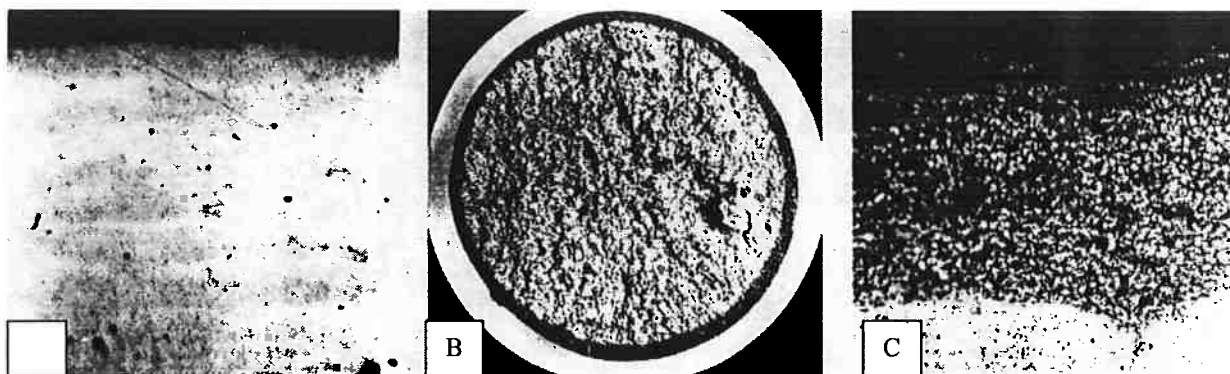
A corrosão intergranular inicia-se na superfície da peça fundida, penetrando, com o decorrer do tempo, cada vez mais profundamente, sempre seguindo os contornos de grão, até que toda a peça seja corroída.

Outros metais que podem provocar corrosão intergranular são: índio, tálio, bismuto e mercúrio, porém não encontram-se normalmente como impurezas do zinco e de seu minério, sendo portanto menor a preocupação com relação aos mesmos.

Para verificação da manifestação da corrosão intergranular, é proposto por Evans (9), um tratamento térmico a 95°C em atmosfera saturada em vapor de água durante 10 dias.



A seguir são apresentadas algumas microestruturas apresentando o problema da corrosão intergranular.



**Figura 06:** Corrosão Intergranular. Em A, amostra como polida, submetida a envelhecimento durante 10 dias em vapor de água a 95°C; B) Amostra fraturada, com Adição de chumbo( 0,018% Pb) , submetida ao mesmo tratamento, o anel preto corresponde a corrosão intergranular.; C ) Micrografia de B. Em A e C o aumento é de 100X , em B de 6X

## 9.2. Envelhecimento

O envelhecimento, como mencionado está relacionado a decomposição de fases metaestáveis, em especial a precipitação do alumínio presente na fase rica em zinco, que encontra-se saturada devido às condições de resfriamento. Usualmente processa-se em até cinco semanas após a fundição da peça. As contrações devidas ao envelhecimento podem ser antecipadas através de um tratamento térmico de estabilização, que praticamente não causa alteração nas propriedades mecânicas da liga <sup>(1)</sup>. O tratamento , consiste em um recozimento em temperaturas relativamente baixas da ordem de 100°C por períodos de 3 a 6 horas.

Na figura 05, apresentada anteriormente é possível visualizar a precipitação da fase rica em alumínio nas dendritas da fase rica em zinco.

## 10. PARTE EXPERIMENTAL

A parte prática (experimental) deste trabalho foi realizada nos Laboratórios do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

A realização desta parte prática envolveu basicamente quatro etapas:

- . Definição das experiências
- . Obtenção de Materiais para as experiências
- . Realização de Fusões e Elaboraões de ligas
- . Realização do Tratamento Térmicos e Ensaios Mecânicos

### 10.1. Definição das Experiências

O procedimento experimental adotado na parte prática envolveu comparação de um zamak puro e um artificialmente contaminado, simulando aumento de impurezas devido a reciclagem, através da adição de liga chumbo - estanho (70 Sn-30 Pb). Os corpos de prova contaminados e não contaminados foram expostos a situações que favorecem a ocorrência de corrosão intergranular, ou seja, foram submetidos a tratamento a 95°C em atmosfera saturada em vapor de água. A duração do ensaio para manifestação da corrosão intergranular é de 10 dias, no entanto as amostras só puderam ser tratadas durante 53 horas. Foram realizados ensaios mecânicos de tração e dureza nos corpos de prova fundidos a fim de tentar verificar a ocorrência da corrosão intergranular, este o maior problema das ligas Zamak .

Utilizando-se o Zamak contaminado, foi elaborado o latão ao manganês, especificado anteriormente, como possível solução para a reciclagem de Zamak.

## **10.2 . Obtenção de Materiais**

A obtenção de materiais foi realizada junto as empresas visitadas durante o levantamento de informações sobre o mercado de zamak. Para a realização das experiências propostas era necessária a obtenção de zamak 5 ( o mais utilizado no Brasil), cobre, zinco e um latão de composição conhecida para realizar-se comparações com dados da literatura.

O zamak 5 e o zinco SHG foram gentilmente fornecidos pela Companhia Paraibuna de Metais, através do Sr. Max Mazzanti e do Sr. Celso Fernandes.

Já o cobre eletrolítico e o latão C36000 , foram cedido pela Udinese Metais, pertencente ao Grupo Papaiz, por intermédio do Engº. Enrico Iozzi Neto.

Outra contribuição com materiais importante foi realizada pelo Engº Mario Bocallini, chefe do Departamento de Fundição do IPT. Além de fornecer amostras de ferro-manganês para elaboração do latão ao manganês, ele forneceu também moldes de fundição de precisão para produção de corpos de prova padronizados para ensaio de tração.

Na Tabela VII, a seguir são apresentados os materiais disponíveis para execução das experiências, suas quantidades e composições:

**Tabela VII:** Materiais Disponíveis para as experiências.

| <b>Descrição</b>              | <b>Quantidade</b> | <b>Fonte</b>   | <b>Composição</b>                                                                                              |
|-------------------------------|-------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cobre Eletrolítico</b>     | 5,1 kg            | Udinese Metais | 99,9% Cu                                                                                                       |
| <b>Zinco SHG</b>              | 4,0 kg            | Cia Paraibuna  | 99,995% Zn; 0,003% Pb<br>0,003% Cd; 0,002% Fe<br>0,001% Cu; 0,001% Al<br>0,001% Sn<br>Máximo Impurezas: 0,005% |
| <b>Zamak 5</b>                | 4,5 kg            | Cia Paraibuna  | 3,9-4,3% Al; 0,75-1,25% Cu<br>0,03-0,06% Mg; 0,075% Fe<br>0,003% Cd; 0,004 % Pb<br>0,002% Sn; restante de Zn   |
| <b>Latão C36000</b><br>(ASTM) | 4,6 kg            | Udinese Metais | 60,5-61,5%Cu; 2,75-3,10%Pb<br>0,20% Fe; 0,25% Sn<br>0,1% Ni; 0,06% Al<br>restante de Zinco                     |
| <b>Liga Fe-Mn BC</b>          | 240 g             | IPT - Fundição | 84% Mn; 0,8% C; restante Fe                                                                                    |

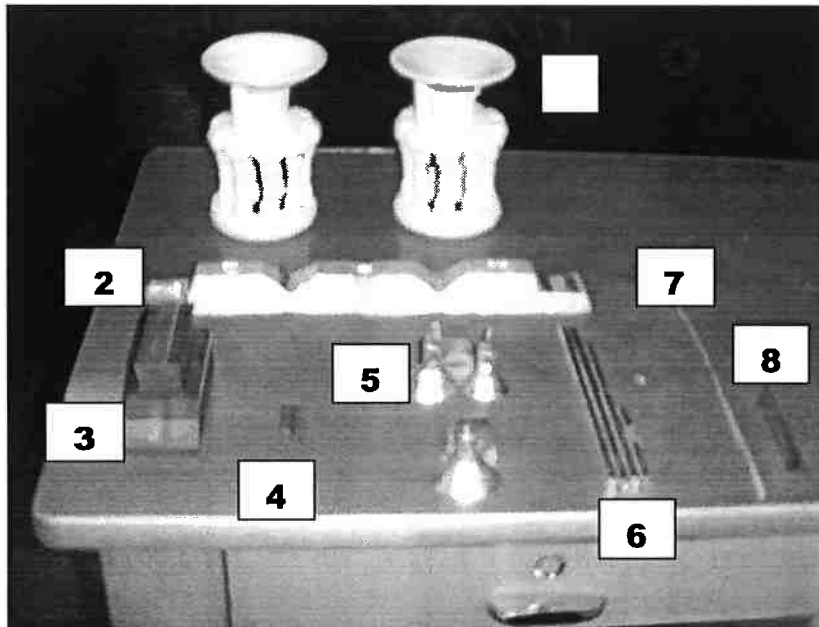
### 10.3. Realização de Fusões e elaborações de Ligas

Os equipamentos utilizados nesta etapa foram

- . Forno de Indução
- . Cadinhos de Grafita
- . Muflas ( Fornos com aquecimento através de resistências elétricas)
- . Viscosímetros Herty para fluidez de escória - utilizados como lingoteiras
- . Pirômetros óticos / pirômetros com termopar

- . Moldes de fundição de precisão para fabricação de corpos de prova padronizados para ensaios de tração.

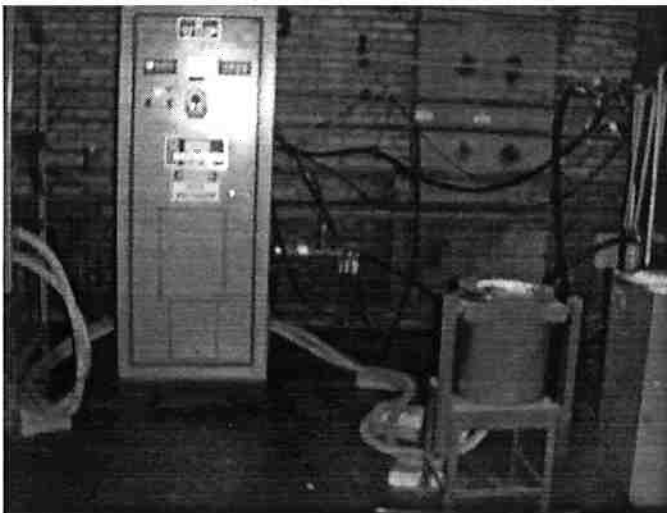
A seguir são apresentadas algumas fotos dos materiais e equipamentos utilizados:



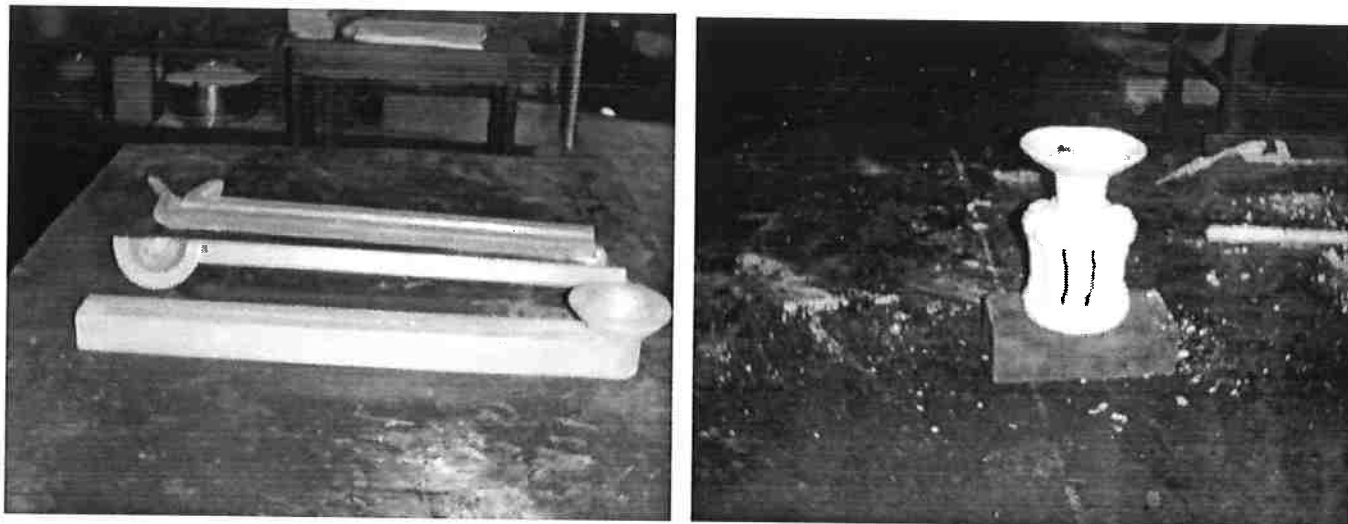
**Legenda:**

- 1 - Molde de Fundição de Precisão
- 2 - Lingote de Zinco SHG
- 3 - Cobre Eletrolítico
- 4 - Plug's de Grafita para fechar o canal dos Viscosímetros Herty
- 5 - Cabeças dos lingotes dos Viscosímetros Herty
- 6 - Varetas para obtenção dos CP para ensaio de Tração, obtidas nos Viscosímetros Herty
- 7 - Vareta de solda 70Sn - 30Pb
- 8 - Vareta de Solda de Ferro

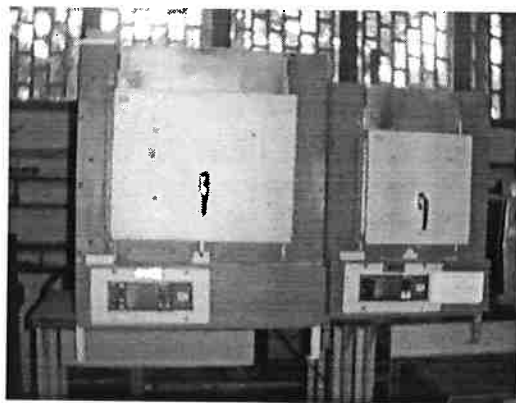
**Figura 07:** Alguns materiais utilizados na etapa de fusão e elaboração de ligas



**Figura 08:** A-) Forno de Indução utilizado  
B-) Detalhe do Forno e tenazes utilizadas para os vazamentos



**Figura 09:** A-) Viscosímetros Herty utilizados como lingoteiras  
B-) Molde de fundição de Precisão



**Figura 09:** Muflas (fornos) utilizadas para aquecimento dos Moldes/Viscosímetros

No dia 23/11/2000 foi realizada a primeira fusão deste trabalho. Consistiu-se de uma fusão teste para verificação dos parâmetros do forno e procedimento para vazamento.

Os Viscosímetros Herty foram preparados para sua utilização como moldes, através de uma cuidadosa limpeza com escova de aço e posterior limpeza com ar comprimido, sendo então colocados nas muflas a uma temperatura de 250°C para pré-aquecimento.

Preparou-se então uma carga com 2,0 kg de Zamak 5 (virgem), obtido a partir do lingote fornecido pela Companhia Paraibuna. A carga foi pesada e

colocada em um cadinho de grafita e posteriormente o mesmo foi introduzido no forno. O forno a indução foi então ligado e realizou-se a fusão atingindo-se uma temperatura no banho de 500°C.

Retirou-se as lingoteiras das muflas, fechando-as com o auxílio de sargentos e inserindo os plug's de grafita para bloquear o canal do viscosímetro.

Foi realizado um primeiro vazamento a temperatura de 495°C, sendo então o cadinho retornado ao forno. Após solidificação do Zamak 5, os viscosímetros foram desmontados, retirado o lingote obtido e remontados para mais vazamentos, até que toda a carga alimentada no cadinho fosse lingotada. Foram realizados assim mais dois vazamentos, a 450°C e 460°C, respectivamente. A partir das peças lingotadas obteve-se as cabeças do lingote e o trecho útil, em forma de vareta cilíndrica, com diâmetro de 10 mm, para obtenção de corpos de prova para ensaio de tração.

Os parâmetros utilizados na primeira fusão realizada foram:

**Tabela VIII:** Parâmetros utilizados na Fusão do Zamak Virgem (1ª fusão)

|                                                 |              |                 |
|-------------------------------------------------|--------------|-----------------|
| <b>1ºFusão</b>                                  |              |                 |
| Zamak puro (Fabricação Corpo Prova (CP) Herty ) |              |                 |
|                                                 | <b>Massa</b> | <b>Material</b> |
| <b>Carga:</b>                                   | 2,00 kg      | Zamak 5         |
| <b>Temperatura:</b>                             | 450 °C       |                 |
| <b>Tmolde:</b>                                  | 250 °C       |                 |
| <b>Vazamento:</b> em Viscosímetro Herty         |              |                 |

A fim de testar o processo de fundição de latões e criar uma referência dos dados experimentais com os dados da literatura, realizou-se ainda no dia 23/11/200 a fusão do latão C 36000 , cuja a composição é conhecida e fornecida pela Udinese Metais, apresentada anteriormente. O vazamento da carga foi realizado inicialmente nos Viscosímetros Herty e posteriormente realizado em um dos moldes de fundição de precisão, para obtenção de corpos de prova padronizados para ensaios de tração.

Os parâmetros utilizados nesta fusão foram:

**Tabela IX:** Parâmetros utilizados na Fusão do Latão C36000 (2ª fusão)

| 2ª Fusão                                           |          |              |
|----------------------------------------------------|----------|--------------|
| Latão de referência para comparar com a literatura |          |              |
|                                                    | Massa    | Material     |
| Carga:                                             | 4,675 kg | Latão C36000 |
| Temperatura:                                       | 990 °C   |              |
| Tmolde:                                            | 680 °C   |              |
| Vazamento: nos Viscosímetros Herty                 |          |              |
| Retorno do cone /canal para cadinho                |          |              |
| Vazamento: molde fundição de precisão              |          |              |

A temperatura de fusão deste latão é de 900°C, tendo sido adotada portanto a temperatura de 990°C para o forno. Tentou-se utilizar o forno a indução para esta fusão, no entanto, devido a problemas na bomba do sistema de refrigeração de água, não pode-se utilizá-lo. Utilizou-se portanto as muflas, o que foi muito demorado tendo em vista a massa da carga/cadinho a ser aquecida. A temperatura de pré -aquecimento do molde foi obtida a partir da relação de temperaturas (em Kelvin) utilizada para aços, ou seja, para temperatura de vazamento de 1500°C tem-se um pré-aquecimento do molde a 900°C.

Ocorreram muitos problemas de oxidação nas circunstâncias de fusão, tendo ocorrido uma grande perda na forma de vapor, sendo muito provável a dezinificação da liga. Ao realizar-se o vazamento do cadinho nos viscosímetros Herty verificou-se uma fluidez muito baixa da liga, não preenchendo completamente o canal do viscosímetro. Buscou-se então elevar a temperatura até 1090°C, o que aumentou a perda por oxidação. Ao realizar o vazamento, nesta temperatura, no molde de fundição de precisão, verificou-se também uma pequena fluidez, associada a provavelmente ao banho ainda não haver atingido a temperatura estipulada, o que implicou num preenchimento incompleto do molde, impossibilitando a obtenção de corpos de prova a partir deste molde.



Devido a estes fatos: falha no vazamento, implicando em perda do molde de fundição de precisão e desinfecção (mudanças de composição da liga), não foi possível obter um fundido para atuar como referência em relação a literatura.

A próxima etapa de fusões realizadas aconteceu no dia 20/12/2000, tendo sido então elaborado uma carga de Zamak contaminado, e com parte do Zamak contaminado, o latão ao manganês.

O Zamak 5 contaminado ( com adição de contaminantes na forma de vareta de solda Chumbo-estanho) foi obtido a partir dos seguintes parâmetros:

**Tabela X:** Parâmetros utilizados na Elaboração do Zamak 5 contaminado (3ª fusão)

| <b>3ª Fusão</b>                           |              |                 |
|-------------------------------------------|--------------|-----------------|
| Elaboração ZA5 Contaminado                |              |                 |
|                                           | <b>Massa</b> | <b>Material</b> |
| <b>Carga:</b>                             | 1,67 kg      | Zamak 5         |
|                                           | 3,85 g       | 30 Pb-70 Sn     |
| Temperatura: 410 °C                       |              |                 |
| Tmolde: 200 °C                            |              |                 |
| <b>Vazamento:</b> nos Viscosímetros Herty |              |                 |
| Retorno do cone /canal para cadinho       |              |                 |
| Elaboração do Latão da Fusão 4ª Fusão     |              |                 |

Como o forno a Indução já havia sido reparado, foi utilizado para realização desta fusão. O vazamento também foi realizado nos viscosímetros Herty, tendo estes sido preparados como explicado anteriormente. Após os vazamento nos viscosímetros Herty, obteve-se as varetas de Zamak contaminado as quais foram submetidas a condições para favorecer a corrosão intergranular , o tratamento proposto por (9).

Elaborou-se então a carga para produção do latão ao Manganês. Foram utilizados Zamak contaminado, zinco , cobre, liga ferro-manganês e varetas de ferro, de forma a elaborar o Latão ao Manganês. A carga foi vazada no molde de Fundição de precisão, pré-aquecido a respectiva temperatura, conforme explicado pelo Engº. Mario Bocalini (ver **Apêndice I, visita ao IPT**) e citado anteriormente.

**Tabela XI:** Parâmetros utilizados na Elaboração do Latão ao Manganês (4ª fusão)

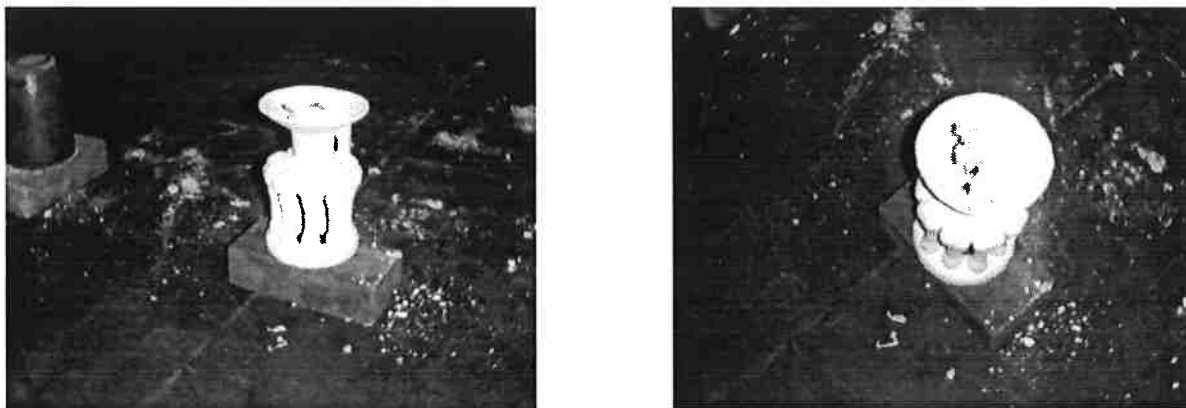
|                                                                                       |              |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|
| <b>4ª Fusão</b><br>Elaboração Latão B147 (manganês)<br>Com ZA5 Contaminado (3ª Fusão) |              |                   |
|                                                                                       | <b>Massa</b> | <b>Material</b>   |
| <b>Carga:</b>                                                                         | 2,050 kg     | Cu (eletrolítico) |
|                                                                                       | 1150 kg      | Zamak 5           |
|                                                                                       | 0,360 kg     | Zn SHG            |
|                                                                                       | 44,3 g       | Fe                |
|                                                                                       | 10,75 g      | Fe-Mn             |
| <b>Temperatura:</b> cerca de 1000°C - não houve controle da temperatura do banho.     |              |                   |
| <b>Tmolde:</b> 650°C                                                                  |              |                   |
| <b>Vazamento:</b> Molde de fundição de Precisão                                       |              |                   |

Novamente foi verificada uma enorme perda devido a oxidação. Foi utilizada injeção de argônio na superfície do cadinho. Amostras do óxido gerado foram recolhidas para posterior análise, porém pelas cores observadas nos vapores gerados, muito provavelmente houve evaporação e oxidação de zinco, causando deszinificação da liga, que provavelmente encontra-se fora da composição prevista na preparação da carga.

Um fato interessante a ser observado é que no Metals Handbook<sup>(10)</sup>, é citado que esta liga, latão ao manganês, deve ser fundida em condições oxidantes, não sendo necessária a utilização de desoxidantes. Uma possível explicação seria que para sua elaboração devem ser empregadas outras condições e até mesmo o uso de ligas mãe.

Apesar dos problemas de perdas, foi realizado o vazamento no molde de fundição de precisão, pré-aquecido a temperatura de 650°C. Verificou-se uma maior fluidez e um correto preenchimento do molde. No entanto, após a solidificação e quebra do molde, verificou-se uma enorme quantidade de defeitos de fundição, em sua maioria associados a elevada temperatura de vazamento, impossibilitando assim a obtenção dos corpos de prova para ensaio de tração.

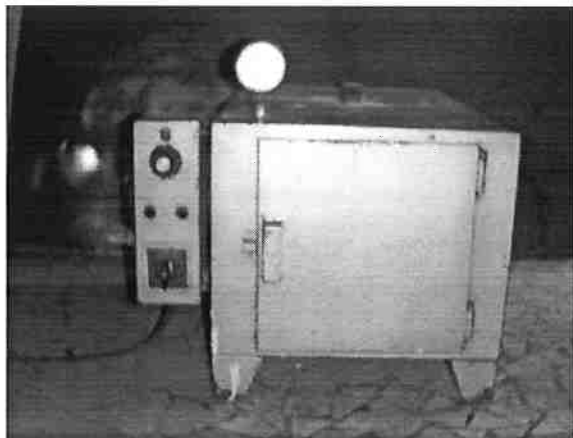
A figura apresentada a seguir mostra o molde de fundição de precisão após o vazamento.



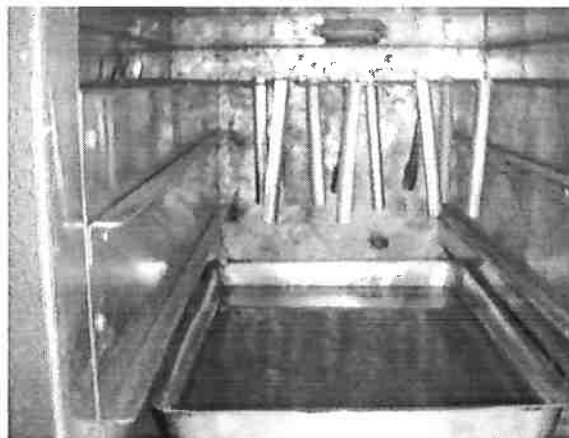
**Figura 11:** Molde de Fundição de Precisão após o Vazamento do Latão ao Manganês elaborado a partir de Zamak 5 contaminado

#### ***10.4. Realização do Tratamento de Envelhecimento e Ensaios:***

As varetas de Zamak 5 obtidas a partir dos Viscosímetros Herty foram cortadas para obtenção de corpos de prova em comprimentos da ordem de 90 mm . Foram preparados 12 corpos de prova, sendo 06 de Zamak 5 contaminado com chumbo-estanho e 06 de Zamak 5 puro. De cada grupo foram separados 03 corpos de provas a serem submetidos ao tratamento de envelhecimento/ corrosão realizado no sistema apresentado a seguir.

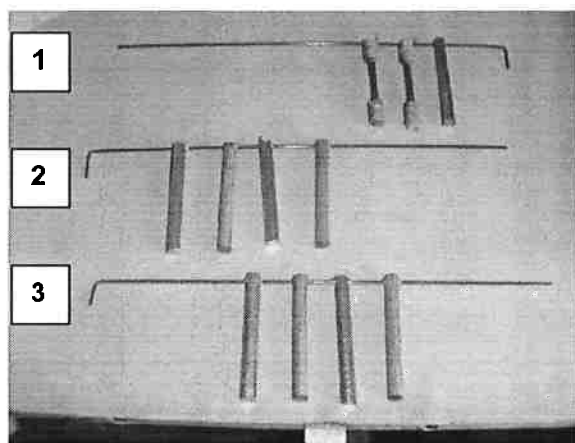


**Figura 12:** Estufa utilizada para o tratamento de envelhecimento, a temperatura de 95°C, atmosfera saturada em vapor de água, durante 53 horas



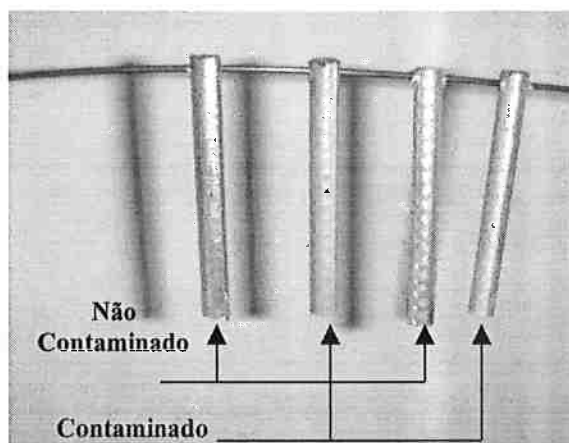
**Figura 13:** Corpos de prova (aproximadamente:  $\phi = 10\text{mm} \times L = 90\text{ mm}$ ) sendo submetidos ao envelhecimento.

Como resultado do tratamento de envelhecimento/corrosão verificou-se, uma maior oxidação superficial nas amostras contaminadas como pode ser observada na Figura 15. Nitidamente as amostras contaminadas tornaram-se opacas.



**Figura 14:** Corpos de Provas submetidos ao tratamento de envelhecimento.

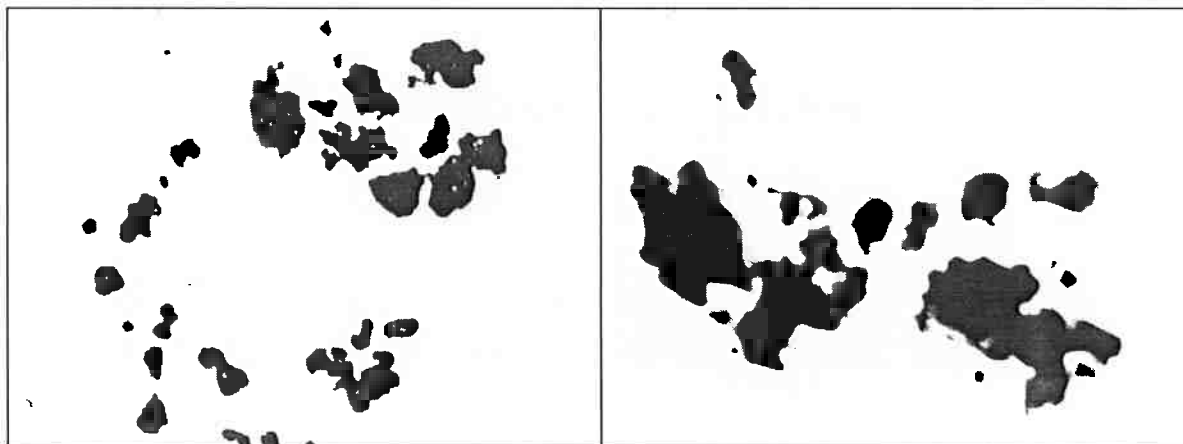
- 1) Corpos de prova de Latão: 02 Latão ao Manganês, 01 Latão C36000 (Cadeado);
- 2) e 3) Corpos de Prova de ZAS, alternadamente: Não Contaminado e contaminado;



**Figura 15:** Detalhe dos corpos de prova envelhecidos.

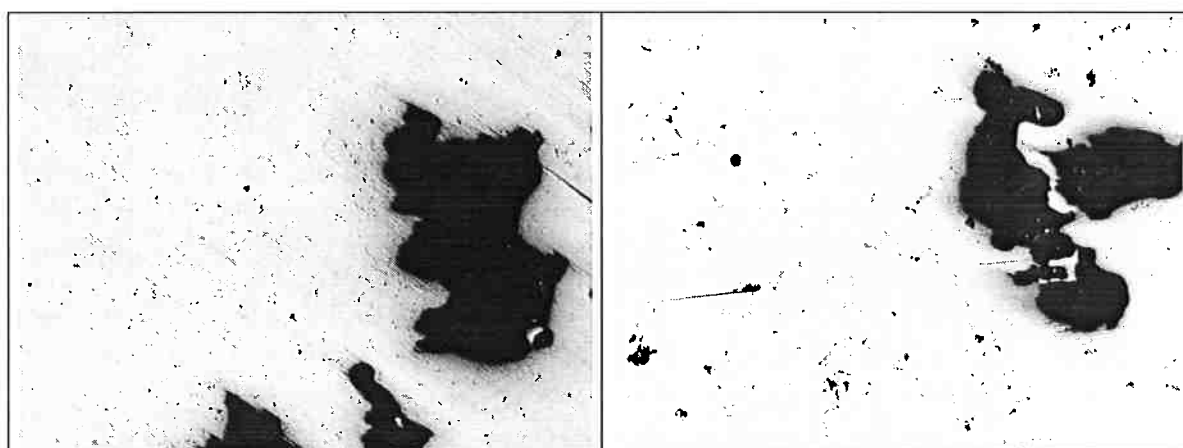
Diferença de aspecto superficial após o envelhecimento. Corpos de Prova Contaminados estão opacos, devido a uma maior corrosão superficial.

Foram preparados corpos de prova a partir das amostras envelhecida e não envelhecidas. Após o polimento foram realizadas algumas fotos das amostras, estas que são apresentadas a seguir:



**Figura 16 :** Zamak 5 , não contaminado e não envelhecido. ( ZNCNE)

**Figura 17 :** Zamak 5 , não contaminado e envelhecido. ( ZNCE)



**Figura 18 :** Zamak 5 , contaminado e não envelhecido. ( ZCNE)

**Figura 19 :** Zamak 5 , contaminado e envelhecido. (ZCE)

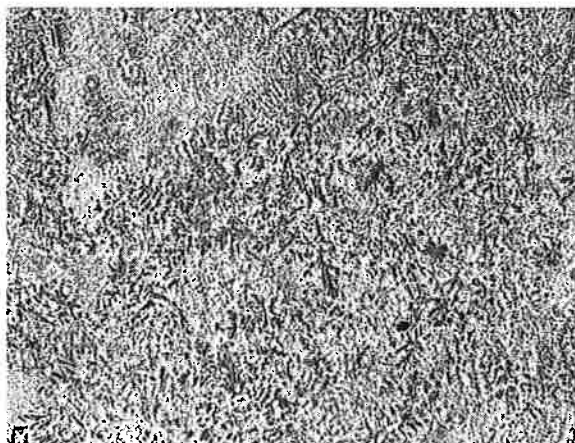
**Observações:**

- 1) Aumento de 50 vezes em todas as figuras – Amostras como polidas
- 2) Zamak 5 Contaminado – Adição de liga 30 Pb – 70 Sn ;
- 3) Tratamento de Envelhecimento: Amostras submetidas a vapor de água a 95°C durante 53 horas;

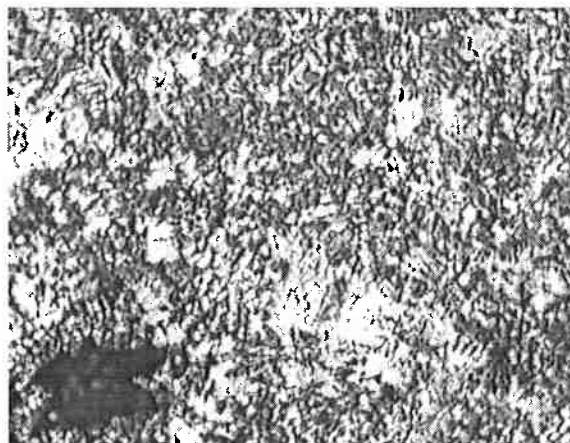
As regiões escuras observadas correspondem a porosidades e rechupes, devido ao fato dos corpos de prova possuírem uma estrutura bruta de solidificação. Conclusões sobre o efeito da adição de chumbo-estanho e o tratamento de envelhecimento ficam comprometidas, pois há uma grande heterogeneidade nas

amostras. A corrosão intergranular não manifestou-se de forma identificável durante o tratamento de envelhecimento. Deve-se ressaltar no entanto que o tratamento foi realizado por tempo muito menor do que o prescrito para o ensaio.

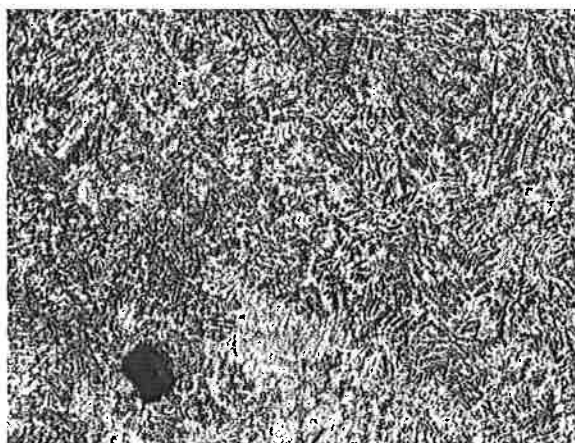
Após ataque metalográfico ( com Nital 3% ) a microestrutura foi novamente observada, sendo as micrografias obtidas apresentadas a seguir.



**Figura 20 :** Zamak 5 , não contaminado e não envelhecido. ( ZNCNE)



**Figura 21 :** Zamak 5 , não contaminado e envelhecido. ( ZNCE)



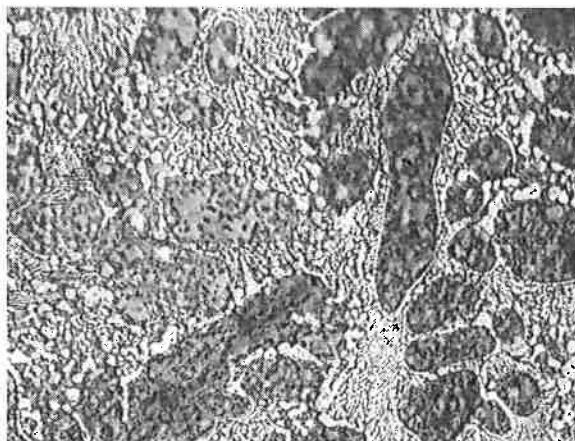
**Figura 22 :** Zamak 5 , contaminado e não envelhecido. ( ZCNE)



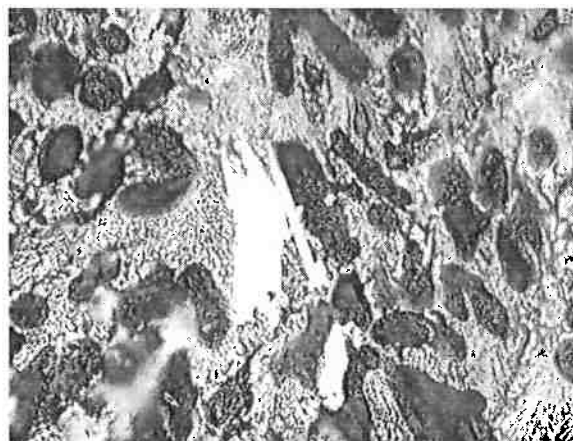
**Figura 23 :** Zamak 5 , contaminado e envelhecido. (ZCE)

**Observações:**

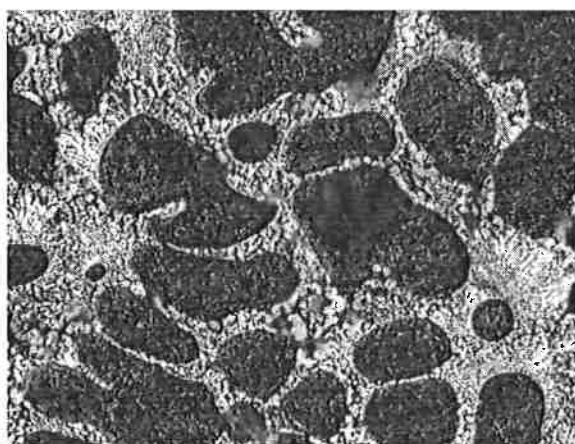
- 4) Aumento de 50 vezes em todas as figuras – Ataque com Nital 3%;
- 5) Zamak 5 Contaminado – Adição de liga 30 Pb – 70 Sn ;
- 6) Tratamento de Envelhecimento: Amostras submetidas a vapor de água a 95°C durante 53 horas;



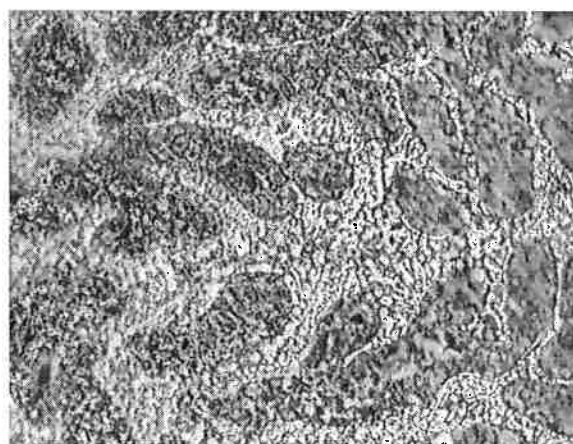
**Figura 24 :** Zamak 5 , não contaminado e não envelhecido. ( ZNCNE)



**Figura 25 :** Zamak 5 , não contaminado e envelhecido. ( ZNCE)



**Figura 26 :** Zamak 5 , contaminado e não envelhecido. ( ZCNE)



**Figura 27 :** Zamak 5 , contaminado e envelhecido. (ZCE)

**Observações:**

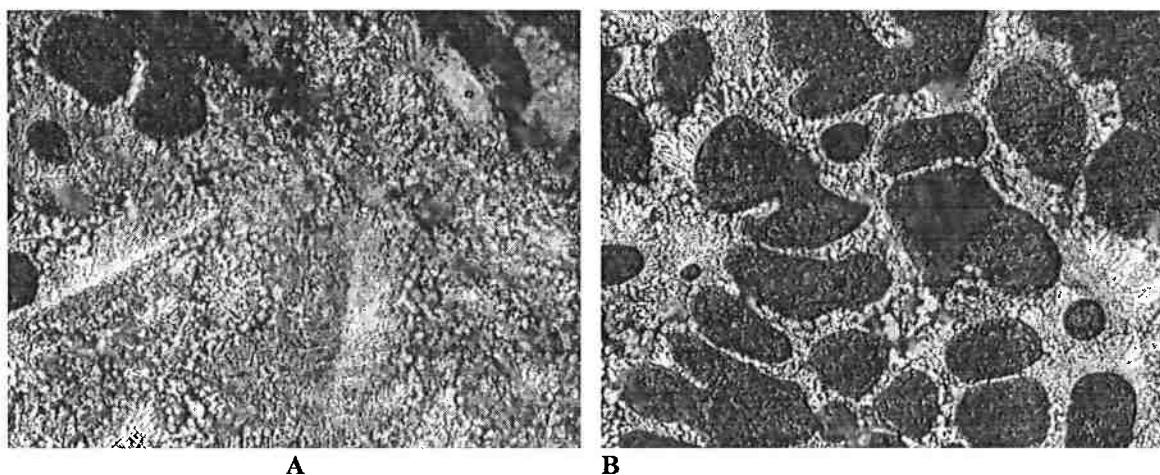
- 7) Aumento de 1000 vezes em todas as figuras – Ataque com Nital 3%;
- 8) Zamak 5 Contaminado – Adição de liga 30 Pb – 70 Sn ;
- 9) Tratamento de Envelhecimento: Amostras submetidas a vapor de água a 95°C durante 53 horas;

As figuras apresentadas mostram nitidamente a estrutura bruta de fusão do Zamak. As regiões escuras correspondem às dendritas da fase primária, rica em Zinco. A matriz por sua vez é formada por um eutético lamelar, novamente com a fase escura rica em Zinco e a fase clara rica em Alumínio.

O ataque utilizado não revelou claramente diferenças relativas ao tratamento de envelhecimento. Tendo em vista o tempo decorrido entre as fusões e a

realização do tratamento e das micrografias (cerca de dois meses), possivelmente todo o alumínio presente na fase rica em zinco já havia precipitado.

Como trata-se de um material com estrutura bruta de fusão, a microestrutura é muito heterogênea, sendo muito importante o problema de segregação, dificultando verificar o efeito da adição de chumbo-estanho na microestrutura do material. Aparentemente ela causa um maior crescimento nas dendritas da fase primária. Um exemplo da heterogenidade da microestrutura pode ser observado nas figuras a seguir:



**Figura 28 A e B:** Zamak 5, contaminado e não envelhecido. (ZCNE) – Aumento 1000 vezes, Ataque Nital 3%. Heterogenidade da microestrutura bruta de fusão, para o mesmo corpo de prova.

Foram realizadas medidas de durezas Brinell nas amostras obtidas dos corpos de prova, verificando uma enorme dispersão nos valores medidos em virtude da estrutura bruta de solidificação e da necessidade de uso do penetrador de 2,5 mm ao invés do penetrador com 10 mm, que seria ideal para o material, mas por limitações de tamanho dos corpos de prova, não pode ser utilizado.



**Tabela XII : Ensaio de dureza Brinnell realizados nas amostras De Zamak**

| <b>Amostra</b>                                                                                                                                           | <b>Dureza Brinnell (HB)</b> | <b>Nº Medidas</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| ZA5 – NCNE                                                                                                                                               | 94,88 . 3,98                | 17                |
| ZA5 – CNE                                                                                                                                                | 95,00 . 2,80                | 16                |
| ZA5 – NCE                                                                                                                                                | 84,00 . 3,84                | 14                |
| ZA5 – CE                                                                                                                                                 | 81,36 . 6,96                | 11                |
| * Foram desprezados valores muito dispersos em virtude dos problemas de porosidade encontrados, o que causaria um desvio ainda maior nas durezas obtidas |                             |                   |

Os resultados mostram que as amostras submetidas ao tratamento de envelhecimento possuem menor dureza, talvez devido a um recozimento da estrutura bruta de soldificação. No entanto devido aos desvios não pode-se concluir se a adição de chumbo-estanho reduziu ou não a dureza do material.

Foram realizados também ensaios de tração no material. As dispersões foram ainda maiores e o efeito de defeitos como porosidades e vazios implicou na impossibilidade de conclusões sobre o efeito das adições e tratamentos, pois sobressaiu-se o efeito da estrutura bruta de solidificação. Utilizou-se uma máquina mecânica (dura) para realização dos ensaios, sendo os valores obtidos no ensaio de tração apresentados a seguir:

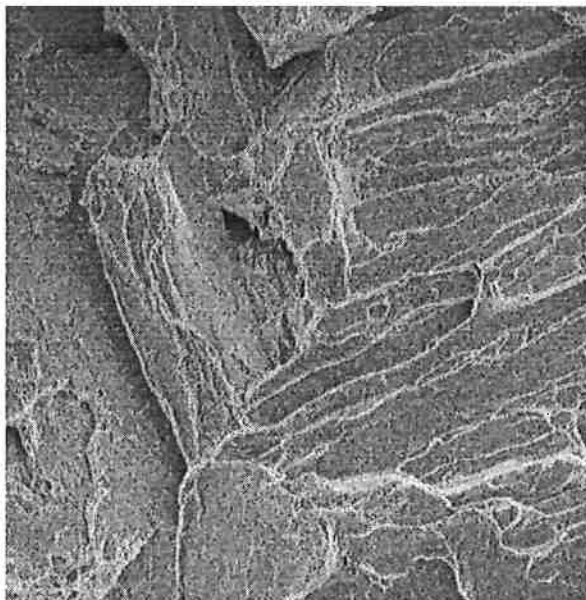
**Tabela XIII : Ensaio de Tração realizados nas amostras De Zamak**

| <b>Amostra</b>                                                            | <b>Força para ruptura (kgf)</b> | <b>Nº Medidas</b> |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| ZA5 – NCNE                                                                | 1267 . 569                      | 3                 |
| ZA5 – CNE                                                                 | 1263 . 170                      | 3                 |
| ZA5 – NCE                                                                 | 1410 . 475                      | 3                 |
| ZA5 – CE                                                                  | 2200 . 173                      | 4                 |
| * Os corpos de prova possuem secção circular com diâmetro médio de 10 mm. |                                 |                   |

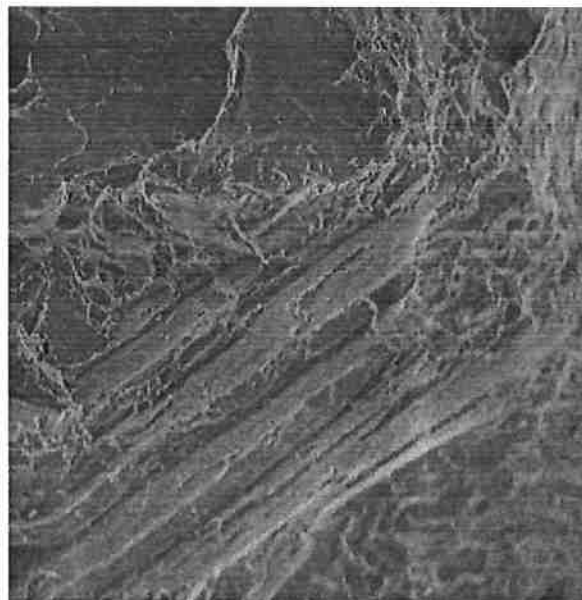
As amostras fraturadas nos ensaios de tração foram analisadas no MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura), verificando-se o aspecto de fratura frágil em todas as amostras, caracterizada por planos de clivagem. Nas amostras envelhecidas existe a presença de mecanismo de quase clivagem indicando mecanismos de deformação plástica (díples).

Macroscopicamente, nas amostras contendo chumbo e estanho tem-se uma região maior de clivagem na periferia, denotando um maior carácter frágil na fratura, porém não há evidência para associar este comportamento a corrosão intergranular.

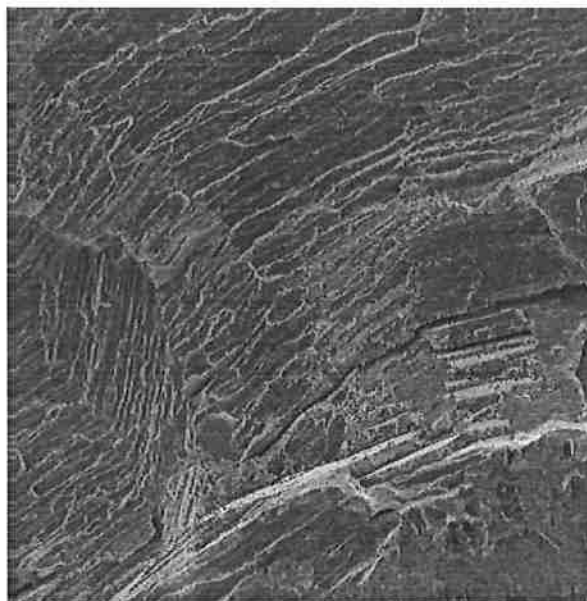
A seguir são apresentadas as micrografias obtidas por MEV das fraturas das amostras.



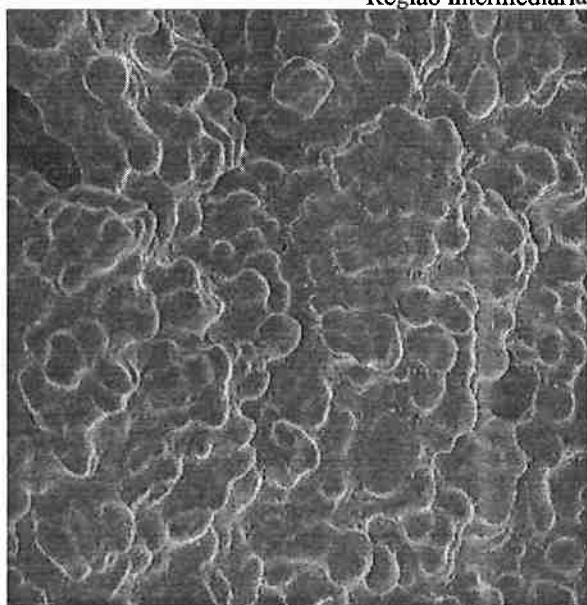
**Figura 29:** Amostra de Zamak 5 não contaminada e não envelhecida com aumento de 100 x, região central



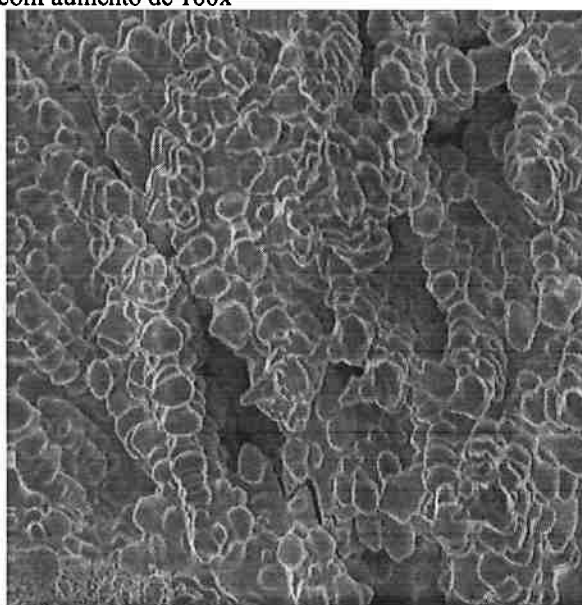
**Figura 30:** Amostra de Zamak 5 não contaminada e envelhecida, com aumento de 120 x, região central



**Figura 31:** Amostra de Zamak 5 contaminado e não envelhecido, Região intermediária, com aumento de 100x



**Figura 32:** Dendritas (em profundidade) na região de porosidade da amostra de Zamak 5 não contaminada e não envelhecida. Aumento de 300x.



**Figura 33:** Dendritas (em profundidade) na região de porosidade da amostra de Zamak 5 contaminada e não envelhecida. Aumento de 300x.

A tendência do zamak em sofrer fratura frágil é grande em especial devido a estrutura da fase rica em zinco que é hexagonal. De maneira geral pode-se afirmar que as dendritas (fase rica em zinco) sofrerão fratura por clivagem ao longo de seu plano basal. Quanto ao eutético interdendrítico, seu comportamento tende a quase

clivagem, não deixando de ser um mecanismo de fratura frágil, no entanto com pequena ocorrência de deformação plástica (localizada) antes da fratura.

## 11. CONCLUSÕES

Do ponto de vista da reciclagem do Zamak verifica-se a possibilidade de sua realização, no entanto devem ser tomados cuidados quanto aos contaminates, exigindo-se critério na execução da reciclagem interna no cadinho e análise de composição na reciclagem interna por refusão/lingotamento e também na externa, salvo os casos em que a empresa recicladora é certificada. A alternativa de utilização do Zamak como fonte de zinco-alumínio na produção de Latões, em especial o latão ao manganês merece ser melhor estudada, sendo a princípio viável.

Em virtude da dificuldade de escolher o enfoque da parte prática do trabalho, os resultados obtidos foram absolutamente não conclusivos, tendo sido afetados pela estrutura de bruta de fusão, pelo tempo disponível para os ensaios e também por não terem sido reproduzidas as condições de injeção.

Como mencionado na introdução, as ligas de zinco, em especial o Zamak 5 merecem um maior estudo quanto a reciclagem, devendo ser testada sua realização com amostras reais (por exemplo carburadores, que representam uma grande quantidade de zamak possível de ser reaproveitado), e paralelamente com diversas concentrações diferentes de contaminates.

Um resultado interessante obtido da parte experimental deste trabalho diz respeito ao evidenciamento de uma corrosão superficial maior nas amostras contaminadas, sugerindo que talvez seja possível uma análise macroscópica da composição da liga a partir do tratamento de envelhecimento, permitindo-se identificar de maneira qualitativa a presença ou não de contaminantes críticos.

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível em virtude da gentil colaboração das empresas visitadas, que forneceram informações importantes e também o material para a realização das experiências. Em especial agradecemos ao Sr. *Max Mazzanti* e o Sr. *Celso Fernandes* da **Companhia Paraibuna de Metais**; ao Eng<sup>o</sup>. *Enrico Iozzi Neto*, da **Udinese Metais**; ao Eng<sup>o</sup> *Mário Bocalini* do **Departamento de Fundição do IPT** e ao Professor Orientador deste trabalho Dr. Eduardo Camargo de Oliveira Pinto. Agradecemos também a importante colaboração do mestrando Wanderson Santana da Silva, dos técnicos do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais e a todas as pessoas que colaboraram direta e indiretamente para a execução deste trabalho de Formatura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bressiani Filho, E.; "Emprego do Chumbo e Zinco e suas Ligas", 1974, Associação Brasileira de Metais, Instituto Brasileiro de Informação do chumbo e Zinco, pág. II.1
2. Faria Filho, S. B. ; " Ligas de Zinco para Fundição " , Seminário de Zinco e suas aplicações ; 29 de março de 2000 ; São Paulo; ABM.
3. Evans, H.L, "Zinc-Base Die-Casting Alloys –Effect of composition on structure and properties", The Metal Industry, July 30, 1937, pág. 105-109
4. ASM Metals Handbook – Volume 9 – "Microestructures" , 9<sup>th</sup> edition, 1988, ASM International, página 488-496

5. Morgam, S.W.K; "Zinc and its alloys and compounds"; 1985, Ellis Horwood Limited, pág 176-191
6. ASM HandbooK – Volume 08 – "Metallography and Phase Diagram", 8<sup>th</sup> edition, 1973, ASM Handbook Comitee, pág 265; 390-391.
7. ASM Handbook - Volume 15 – "Casting", 9<sup>th</sup> edition, 1988, ASM International, página 786 - 797 , 972-1047
8. Metals Handbook 8<sup>th</sup> edition, vol. 5, "Forging and Casting", ASM Handbook Committee, 1970, pág. 444-448.
9. Evans, H. L; "Zinc Base Die-casting alloys – Ageing changes, intercrystalline corrosion, testing and aplications"; The Metal Industry, August 6, 1937; pág. 139-142
10. "Properties and Selection: Nonferrous and Special Purpose Materils", Volume 2, Metals Handbook, 10<sup>th</sup> edition, ASM Imternational, 1990, pág. 310-312, 537-542
11. Web Site da Companhia Paraíbuna de Metais:  
<http://www.paranapanema.com.br/paraibuna>
12. Web Site da Zinsa:  
<http://www.total.net/~ultrac/znadv.html>
13. Web Site da EAZALL:  
<http://www.eazall.com/Zinc%20Alloy%20Guide/Zinc%20Alloy%20Guide.html>
14. Catálogos do Grupo Votorantim e do Grupo Paranapanema.

## BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

1. Porter, F.C. ; **"Corrosion Resistance of Zinc and Zinc Alloys"** , Research Triangle, North Carolina, 1994.
2. Light, L. ; **"Corrosion-Resistance of Zinc Alloys"**, Metallurgia, August 1940, pág 36.
3. Burwood, D.S.; **"The manufacture of high purity zinc and high grade zinc die-casting alloys"**, The Metal Industry, April 17, 1936, pág 455-456
4. Luís , M.L.N. ; **"Caracterização mecânica e microestrutural de um compósito de matriz metálica, Zamak-5, reforçado com aço"** , Trabalho de Formatura de 1993, EPSUSP – PMT , Orientador: Hélio Goldenstein.
5. Simpson, B.L.; **"History of the Metal Casting Industry"** , 2<sup>nd</sup> edition, American Foundrymen's Society, 1969, Chicago, USA.

## APÊNDICE I

### Relatório das VISITAS TÉCNICAS

#### 1. Visita à Companhia PARAÍBUNA de Metais

Na visita ao escritório da Paraíbuna em São Paulo, realizada em 03/05/2000, o Sr. Max Mazzanti fez uma apresentação da Companhia, que produz cerca de 7.000 toneladas mensais de Zinco, sendo que deste total aproximadamente 1.000 toneladas são de ZamaK (98% correspondem a liga Zamak 5). A usina da Paraíbuna situa-se em Juíz de Fora – Minas Gerais, contando com aproximadamente 600 funcionários. O Zamak é comercializado pela Paraíbuna na faixa de R\$ 3,50 / kg, sendo o preço definido pela cotação da Bolsa de Londres e estando na ordem de US\$ 1.100,00 / ton. Cabe ressaltar que o preço do zinco é da ordem de 10% a menos do que o das Ligas Zamak. Cerca de 1000 toneladas de Zinco são exportadas pela Paraíbuna, vendidas diretamente a Bolsa de Metais de Londres.

Quanto a situação do mercado, o Sr. Max confirmou a tendência de crescimento e também a existência de um setor ativo e concorrente de reciclagem. A Paraíbuna estimula a reciclagem interna do Zamak, no entanto existem empresas especializadas em reciclagem, estas fornecendo caçambas que ficam no cliente, onde são jogadas as sobras, canais e rejeitos e levadas para a refusão e correção de composição. Foi apresentada o nome da empresa mais importante neste setor de reciclagem, sendo este apresentado abaixo:

#### Empresa de Reciclagem de ZamaK:

**Minas Zinco** – Situada em Bom Sucesso - Guarulhos  
Contatos: Sr. Eugênio e Pedro. Tel: 6480-0322

Nesta visita também foram apresentadas algumas empresas consumidoras(fundidoras) de Zamak, as quais poderiam estar sendo visitadas, para acompanhar o processo de fundição e reciclagem interna. Cabe ressaltar que está ocorrendo um grande êxodo das Indústrias de São Paulo, muitas dirigindo-se para o interior e outros estados, permanecendo apenas o escritório comercial em São Paulo. Segue a baixo a lista de algumas empresas consumidoras de Zamak.

#### Empresas consumidoras de ZamaK:

**Papaiz** - Sr. Freire Tel: 4057-5202

**Aliança Metalúrgica S.A** - Sr. Alvaro Tel: 6951-1616  
Rua Freire Bastos, 89 – Jaçanã – São Paulo – SP – CEP: 02261-900



**Arim** - Sr. Paulo

Tel: 424-3512

**Microcast** - Sr. Nelsom

Tel: 456 - 6233

## **2. Visita à MICROCAST Ltda**

Durante a Visita a **Companhia PARAÍBUNA de Metais** houve um convite para realização de visita à **Microcast**. Esta é uma pequena empresa de fundição de Zamak localizada em Diadema - São Paulo.

A empresa possui cerca de 10 injetoras de câmara quente para injeção de Zamak, sendo todo ele Zamak 5. Do ponto de vista de Reciclagem das rebarbas, canais de injeção e refugos, tem-se uma total reciclagem interna, sendo todas estas sobras realimentadas no cadinho para refusão e re-injeção.

A temperatura de injeção empregada é da ordem de 400°C, no cadinho, sendo o aquecimento realizado por resistências elétricas (Ni-Cr). Quanto ao bico de injeção das injetoras, tem-se um aquecimento a gás para impedir a solidificação do Zamak no mesmo. Nas peças mais complexas tem-se a aplicação automática (por pulverização) do desmoldante. Todo ciclo das injetoras é automático, porém é necessário um operador para acompanhar o processo.

Entre os produtos da Microcast pode-se destacar reguladores de gás, bicos de ar para pneus, peças para máquinas de lavar roupa e outros componentes de pequeno tamanho. Os reguladores de gás (de pequeno porte, ou seja, uso doméstico) são as maiores peças injetadas nesta empresa.

## **3. Visita à ALIANÇA METALÚRGICA S.A**

Esta visita foi realizada no dia 15 de junho de 2000. A Aliança Metalúrgica S.A. é uma das maiores consumidoras de Zamak do mercado Brasileiro, consumindo aproximadamente 300 toneladas de Zamak 5 por mês. Entre seus produtos temos: reguladores de gás, fechaduras e rodízios. Os reguladores são inteiramente de Zamak, sendo a produção da ordem de 25.000 peças/dia, correspondendo a 50% do consumo de Zamak. Muitos componentes da fechadura são de Zamak (especialmente as maçanetas); os rodízios para cargas mais elevadas também são de Zamak. A Aliança atualmente trabalha no limite de sua capacidade, operando em três turnos.

O Zamak utilizado é comprado exclusivamente da Companhia Mineira de Metais (CMM). Não existe controle de composição química da matéria-prima na Aliança. Ele é realizado com base no Certificado emitido pela fabricante, no caso a própria CMM.

A fundição de Zamak é realizada em injetoras de câmara quente. A Aliança dispõe de 36 injetoras (destas 34 com aquecimento elétrico e 2 a gás), com capacidades de fechamento variando de 5 toneladas até 70 toneladas. As injetoras

menores ( 5, 20 e 40 t ) são automáticas. Já as maiores são semi-automáticas, sendo necessário um operador para retirar a peça fundida do molde. A temperatura de injeção (no cadinho) é de 390 a 400°C. Os moldes são usinados na própria Aliança. As injetoras contam com duas torres de refrigeração , garantindo uma temperatura de 25°C na água de refrigeração dos moldes.

Os canais de injeção, rebarbas e rejeito são reprocessados internamente. Antigamente, a Aliança contratava serviço externo para refusão destes materiais, mas visando reduzir custos, implantou um forno de refusão e passou a realizar este processo internamente. As empresas de refusão trabalhavam , ficando com 20% do material enviado para refusão.

O Forno de Refusão é a gás (GLP) , com uma temperatura de trabalho da ordem de 400 a 450°C. Os canais, rejeitos e rebarbas são refundidos neste forno e depois lingotados. O nível de rejeitos da Aliança oscila entre 0,5 a 1% (máximo). A produção deste forno é de 6,0 toneladas/dia, sendo que são produzidas 30 kg de borra. Esta é vendida, porém não foram fornecidas informações de quem seriam os compradores e qual o interesse deles neste material.

Foi mencionado um controle de composição química do material refundido, sendo este realizado por amostragem ( não é realizado em 100% dos lingotes) . A análise é realizada por espectroscopia ótica. Aparentemente não são realizadas correções na composição da liga.

Existem limitações de utilização do Zamak reciclado. Peças de maiores responsabilidade como os reguladores são fundidas somente utilizando material virgem. Os canais são reaproveitados diretamente na injetora, retornando ao cadinho. Foram detectados problemas de estanquidade, aumento da incidência de vazamentos, nos reguladores que foram injetados com Zamak reciclado. Houveram problemas também em maçanetas que recebiam acabamento com verniz. Como a cura do mesmo ocorre em estufas , com temperaturas entre 180 a 200°C, eram formadas bolhas no verniz, defeito este atribuído a porosidades geradas por gases, quando utilizado Zamak reciclado.

Após a fundição as peças são encaminhadas para operações de acabamento, envolvendo rebarbamento (realizado em máquinas de vibração), polimento, banhos ( cromação, niquelamento, cobreamento, etc) , testes e finalmente são embaladas.

Os reguladores, produtos mais importantes da Aliança são testados em gigs de teste especiais, que realizam uma série de testes, este de vazão, pressão máxima e mínima, estanquidade, etc. Estes testes seguem as normas determinadas para o produto.

A Aliança começa a exportar parte de sua produção, sendo que atualmente cerca de 5% da mesma já é exportado. Os produtos são exportados geralmente para a América do Sul, sendo a Argentina e Chile compradores de fechaduras e a Bolívia e Colômbia de reguladores de gás. Estão sendo realizadas negociações para aumento da exportação de seus produtos.

#### 4. Visita à MINAS ZINCO

Esta visita foi realizada no dia 19/06/2000, sendo a Minas Zinco localizada em Bom Sucesso - Guarulhos. Anteriormente esta empresa era conhecida como Alfa Galvano, tendo recentemente alterado seu nome para Minas Zinco. Trata-se da maior empresa de reciclagem de Zamak do País, porém sua produção é toda destinada ao mercado interno. Além de operar reciclando Zamak, esta empresa também é produtora de Zamak 5, utilizando para sua elaboração Zinco das Companhia Mineira de Metais e da Companhia Paraíbuna. A produção de Zamak virgem da Minas Zinco é de 800 toneladas/mês, ao passo que ela recicla cerca de 150 toneladas de Zamak.

A reciclagem é realizada pela empresa basicamente de duas formas: refusão/correção de composição ou fornecimento de Zamak virgem descontadas as perdas por fusão. Em ambas as formas de reciclagem a empresa mantém no cliente caçambas que são preenchidas com sobras de Zamak (canais, rebarbas, refugos) e então transportados a Minas Zinco.

No primeiro tipo de reciclagem é realizada a refusão deste material e eventualmente, após análise química se necessário, corrigida a composição do banho para posterior lingotamento. Como trata-se basicamente de uma refusão e lingotamento, é cobrado um preço de cerca de 5 centavos/kg por este serviço. Deve-se considerar a perda de fusão, em virtude do peso do material que é enviado a Minas Zinco e o quanto retorna a empresa cliente.

No segundo tipo de reciclagem considera-se uma perda de fusão de 20%. A cada 1000 kg recebidos do cliente para reciclagem, a Minas Zinco devolve 800 kg de Zamak Virgem, sendo a opção preferida pelas maiores clientes da empresa.

Os consumidores de Zamak reciclado (refundido) são em geral pequenas fundidoras, pois nas grandes fundidoras existe a preferência pela utilização de Zamak virgem em função de normas, principalmente a ISO 9000. O preço do Zamak reciclado é da ordem de R\$ 1,70 / kg.

Quando os contaminantes do Zamak (principalmente Pb e Sn) encontram-se elevados, a empresa não pode vendê-lo diretamente como Zamak. Ele é então vendido a empresas para elaboração de latões sem exigências quanto a composição, utilizados na elaboração de enfeites e brinquedos. Outra opção para o Zamak fora de composição é a produção de Óxido de Zinco. A Minas Zinco também compra sucata de Zinco e eventualmente até Borra de banhos de galvanização e de refusão de Zamak, para produção de Zamak reciclado.

Quanto a reciclagem de carburadores, também injetados em Zamak, a empresa não aceita os mesmos como sucata, devido aos seus elevados teores de contaminates e a mão de obra envolvida em sua desmontagem para refusão. No entanto, novamente, existem empresas que operam refundindo estes componentes para fabricação do anteriormente mencionado latão sem especificação.

Para a operação de reciclagem a Minas Zinco dispõe de 03 fornos rotativos a óleo diesel, operando em um turno de 10 horas. O tempo de permanência do Zamak no forno é da ordem de 5 horas, visto que sendo o forno carregado às 7:00 horas, por volta das 13:00 horas, ocorre o primeiro vazamento para lingotamento. Antes

do vazamento é retirada uma amostra que é levada para o laboratório da empresa para realização do controle de composição química por espectrometro.

### **5. Visita á PAPAIZ S.A**

Esta visita foi realizada no dia 26 de junho de 2000, juntamente com o Prof. Orientador deste trabalho. A Papaiz é integrante do Grupo Papaiz, um grupo nacional, com capital fechado. O Grupo é composto pela Papaiz, a Papaiz Nordeste (fabricante de cadeados) e a Udinese Metais. Tanto a Udinese Metais quanto a Papaiz localizam-se na cidade de Diadema, São Paulo, e foram visitadas nesta data. A Papaiz possui hoje 580 funcionários.

A Papaiz é especializada em produzir fechaduras e dobradiças, utilizando aço, aço inoxidável, latão e Zamak. Com exceção do Zamak, todos os outros materiais sofrem processos de estampagem. O consumo de Zamak da empresa é de 30 toneladas por mês, todo ele de Zamak 5 comprado da Minas Zinco.

Para a injeção das peças de Zamak são utilizadas injetoras de câmara quente. O cadinho destas injetoras é de ferro fundido cinzento (fofo), possuindo aquecimento através de resistências elétricas. A temperatura de operação do cadinho é na faixa de 405-410°C, sendo utilizado no máximo 450°C, pois o desgaste do pistão (de aço temperado), que fica imerso no banho, torna-se excessivo nesta temperatura. A vida do pistão é da ordem de 1 ano operando apenas um turno por dia e a vida média dos moldes é de 10 anos, desde que sejam realizadas operações de manutenção como troca de inserts. Os moldes trabalham com uma temperatura na faixa de 80-90°C, conseguida através da circulação de água, que é resfriada em torres de refrigeração.

A Papaiz possui injetoras semi-automáticas com pressões de fechamento de 10, 15, 20, 40 e 100 toneladas. Estas máquinas exigem a presença de um operador. O ciclo de injeção destas máquinas dependendo do peso e da complexidade da peça chega a ser de 40s. Para peças pequenas a Papaiz dispõe de injetoras automáticas de elevada produtividade. Estas máquinas podem injetar peças de até 105 gramas, com pressão de fechamento de 7,2 toneladas, chegando a produzir 22,2 peças por minuto. Um operador apenas é necessário para garantir o funcionamento de 06 destas injetoras. O preço de cada uma destas máquinas é de US\$ 200.000 - 250.000,00. Elas necessitam trabalhar com os moldes em temperaturas mais baixas utilizando água em temperaturas inferiores a 18°C.

Na injeção das peças mais complexas é utilizado desmoldante (Agepol), para facilitar a extração da peça da matriz, o que dependendo da máquina é feito automaticamente através de pinos de extração. O uso de desmoldante deve ser criterioso pois seu excesso implica em geração de gases durante a injeção, podendo causar defeitos de falta de preenchimento e/ou bolhas o que prejudica o acabamento da peça e tratamentos superficiais posteriores como niquelação e cromação. Busca-se portanto a utilização do mínimo possível de desmoldante.

As peças após injetadas são classificadas quanto a presença de defeitos pelo operador, caso sem defeito, seguem para o almoxarifado (sendo denominadas

então de peças brutas), após o almoxarifado seguem para as operações de acabamento, estas que envolvem lixamento, vibração para polir e retirar rebarbas e então os banhos eletroquímicos.

Do ponto de vista da Reciclagem de Zamak, a Papaiz opera com reciclagem interna, tanto realimentação no cadinho como re-lingotamento (Udinese), como também externa, na Minas Zinco. O material a ser reciclado em geral é da ordem de 20% do total de Zamak consumido pela Papaiz. O Zamak a ser reciclado é em sua grande maioria proveniente de cavacos / rebarbas e de peças refugadas ( cerca de 4 a 5 % do total de peças injetadas).

A reciclagem interna direto no cadinho é realizada pelo próprio operador da injetora, que vai adicionando em pequenas quantidades os canais das peças injetadas no banho.

O material refundido e relingotado da Udinese é utilizado após análise de composição química da própria Udinese, desde que dentro das faixas de composição prescrita, como material virgem, sem restrições para o uso. Existe a preocupação quanto aos teores de Fe, Cu, Ni e Al, para que sejam garantidas as propriedades da liga.

Como a Minas Zinco é certificada pela Papaiz / Udinese o material fornecido pela mesma não é analisado, sendo aceito o certificado emitido pela Minas Zinco , sobre o produto fornecido. A parcela de Zamak entregue para reciclagem na Minas Zinco é devolvida , com uma quebra de 25%, na forma de Zamak Virgem.

A borra formada sobre os cadinhos de Zamak é retirada em determinados intervalos de tempo e vendida. Utiliza-se a mesma para obter óxido de zinco, tendo em vista que ela é composta quase que exclusivamente por óxidos.

## 5.1 Udinese Metais (Grupo Papaiz)

A Udinese Metais é a empresa do Grupo Papaiz responsável pela produção de Latão para o Grupo. O Latão é utilizado tanto para a produção de fechaduras / maçanetas como cadeados. Além de produzir o latão a Udinese também recicla parte do Zamak utilizado pela Papaiz, como mencionado anteriormente.

O latão é produzido na forma de vergalhões extrudados e posteriormente trefilados. Visando a minimização dos custos, o latão é elaborado a partir de sucata de seus componentes. As empresas fornecedoras são a Termomecânica (70%) , Cecil, Ibrame e Eluma. Para fusão da Sucata a empresa conta com 03 fornos de Indução e um sistema de lingotamento contínuo intermitente, no qual a cada 17 segundos, 15 cm de latão são puxados através do canal. A temperatura destes forno encontra-se entre 980 e 1005°C. Cerca de 60% da produção de latão da Udinese é comercializada.

Além da extrusora de latão com força de 7000 toneladas (produz vergalhões de 7m x 2" ), a Udinese dispõe de um injetora de câmara fria para injetar peças de latão. O material é fundido num cadinho próximo a máquina, é lingotado, analisado e então um operador carrega diretamente o latão fundido na câmara do pistão para injeção.

Do ponto de vista da Reciclagem de Zamak, a Udinese processa cerca de 30% do Zamak total a ser reciclado. O restante é processado pela Minas Zinco. A reciclagem da Udinese implica em cerca de 4,5 toneladas de Zamak recicladas por semana. Como o Zamak a ser reciclado é constituído principalmente de cavaco e rebarbas, ele inicialmente é seco para eliminação de água / solventes, compactado para posterior análise. Mesmo peças que sofreram banhos são recicladas diretamente no forno juntamente com os cavacos e refugos.

Para controle da composição química a Udinese dispõe de uma máquina de fluorescência de raio X. A refusão do Zamak é realizada em um forno de panela, utilizando gás (GLP). Não é utilizado controle de temperatura neste forno, atingindo este portanto temperaturas da ordem de 1000°C. Nesta temperatura parte do zinco é vaporizada, oxida-se e é aspirada por um sistema de exaustão. Na saída deste sistema existem filtros para retirada do pó de óxido de zinco formado, que é então comercializado, em virtude de sua importância na indústria de cosméticos (base para cremes), tintas e fertilizantes.

Do Zamak assim fundido é feita uma amostra que é então analisada quanto a composição química. Caso encontre-se dentro das normas o Zamak é lingotado e enviado a Papaiz para uso como material virgem. Caso esteja fora da composição utiliza-se parte dele diluído para fabricação de latão, pois os contaminantes críticos para o Zamak não são para o latão. Caso seja uma grande quantidade, ele é trocado diretamente com a Minas Zinco por material virgem, levando-se em conta a quebra de 25%.

A Minas Zinco utiliza o Zamak fora de especificação (devido aos cotaminantes em elevados teores) para fazer o Zamak Pack que é vendido para utilização na elaboração de latões para fundição em coquilha (fundir peças por gravidade), o denominado Latão TM-60, que possui alta quantidade de impurezas. Este latão é utilizado para aplicações decorativas (enfeites) onde as exigências de propriedades são muito baixas.

Como a Udinese possui ISO 9000 ( a Papaiz ainda não possui) , ela teve que certificar a Minas Zinco como sua fornecedora. Foram feitas uma série de testes iniciais para certificar o Zamak da Minas Zinco, estes de metalografia, análises químicas e propriedades mecânicas do material além de uma visita para constatar os métodos de análise de Composição da Minas Zinco ( emissão ótica) e os fornos ( Separados , para evitar contaminação).

Verificou-se assim através desta Visita a intensa preocupação do Grupo Papaiz com a reciclagem em todos os níveis dos materiais envolvidos em seu processo produtivo, o que possibilita também uma minimização dos custos.

## **6. Visita ao Departamento de Fundição de Precisão do IPT**

Na visita ao Engº Mário Bocalini, chefe do Departamento de fundição de precisão do IPT, realizada em 25/10/2000, foi exposta a idéia básica inicial da parte prática deste Trabalho de Formatura que consistia na elaboração de um latão através do uso de Zamak como fonte principal de Zinco. Ele mencionou que apesar

de sua experiência na área de fundição, não trabalhou com latões ou ligas de zinco para fundição, portanto disse que não poderia estar ajudando muito do ponto de vista técnico.

Ao mencionar que estávamos tentando elaborar um latão simplificado, ou seja, apenas com Cu-Zn-Al, ao invés dos latões normais que em sua composição possuem Fe e Mn (no caso de latões para fundição), ele concordou que realmente seria mais fácil, pois no caso de latões com Fe, seria necessário o uso de liga mãe Fe-Cu.

O Engº. Mário forneceu 03 moldes de fundição de precisão, cada um com 09 corpos de prova cilíndricos para ensaio de tração. O volume interno de cada molde é de 500 ml. Foi mencionada a necessidade do pré-aquecimento do molde, que deve seguir a mesma proporção utilizada para fundição do aço, ou seja: Molde - 900°C para Aço Fundido a 1500°C.

Além disso foi fornecido, no dia 10/11/2000 o material refratário para reforma do refratário do forno de indução do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica. Esse material é constituído de 05 granulometrias de Alumina, totalizando uma massa de 20kg. O ligante a ser empregado é o melaço, também fornecido.

## APÊNDICE II

### ABSTRACTS encontrados durante revisão bibliográfica na Biblioteca do IPT

#### 1929 – The Engineering Index – pág. 555

*Strenght of Zinc Base Die Casting*, R. M. Curts, *Iron Age*, Vol 124, n°25, Dec. 19, 1929, pp. 1655-1658. Remarkable improvemet wich has been made to phisical properties of Zinc-Base die casting alloys; improvement has been large recently; gravity and pressure methods compared; types and relative merits of alloys avaiable.

#### 1929 – The Engineering Index – pág. 161

*Constitution of Zinc-Auminum Alloys*, E. A. Anderson, *Am. Soc. Steel Treatings – Trans.*, vol. 16, n° 6, Nov. 1929, pp. 808-809. Diagram given is that of Nanson and Gyler altered in . region by Pierce's finding; solubility of aluminum in zinc ( . solid solution ) extends to 0.85 per cent of aluminum at 335°C, decreasing to 0,25% of aluminum at room temperature. Biblipography: Simplified Practice Committee Release.

#### 1930 – The Engineering Index – pág. 108

*Kinetic Measurement of a Transformation Reaction in solid Metal*, W. Fraenkel and E. Wachsmutrh, *Zeit fur Metallkunde*, vol. 22, n° 5, May, 1930, pp. 162-167. Results of measurement of longitudinal change of aluminum-zinc alloys in relation to time carried out with aid of interferometer; contrary to previous theor, it shown that reaction does not follow radioactive desintegration law, but shows self-aceleration at first; relation of speed of reaction to degree of quenching temperature is demonstrated.

#### 1930 – The Engineering Index – pág. 497

*Die Casting Zinc and Aluminum*, D. L. Colwell, *Metal Progress*, vol. 18, n° 5 , Nov. 1930, pp. 58-63 and 100. Properties of Zinc-Base alloys and efect of lead, tin, copper and vanadium,; data on composition and physical properties of aluminum-base and zinc-base alloys for various uses investigated by Committee B-6 of American Society for Testing Materials; planting and machining of die castings.

#### 1930 – The Engineering Index – pág. 497

*A note on Zinc-base Die Casting Alloys*, R. Lancaster and J.G. Beny, *Inst Metals – J.I.*, vol. 43, n° 1, 1930, pp. 241-242 and 243-245, *Metal Industry ( Lond.)*, vol. 36 , n° 13, Mar. 28, 1930, pp. 349 and *Engineering*, vol. 129, n° 3350, Mar. 28, 1930, pp. 429 and 399. Effect of adding small quantities of magnesium to zinc-base alloy, hardened with copper and aluminum, there is variation in physical properties, and distinct change in crystalline structure, with sucessive small additions of magnesium.

#### 1930 – The Engineering Index – pág. 497

*Development of Zinc-Base Die Casting Alloys*, D.L. Colwell, *Am. Soc. Testing Matls – Proc.* , vol. 30, pt. 2, of mtg, June 23-27, 1930, pp. 473-489 and 490-492. History of improvement of zinc-base die-casting alloys is illustrated in series of charts, wich show effects of normal and acelerated ageing on size and physical properties of zinc base die castings; data from tests, conclusion reached.



**1930 – The Engineering Index – pág. 497**

*Modern Zinc Base Die Casting*, W.M. Pierce, *Metals and Alloys*, vol.1, n° 12, June 1930, pp. 544-546. Problems involved in securing suitable alloys and advances in perfecting zinc-base alloys for die casting; requirements of die casting alloy; zinc-base alloys: zinc-aluminum alloy system, physical properties and composition.

**1930 – The Engineering Index – pág. 497**

*New Zinc Alloys*, R. M. Curts, *Chem. Markets*, vol. 27, n° 25, Nov. 1930, pp. 436-466; Metallic zinc has extended its services into few fields as result of much thoughtful and painstaking research work; this has been accomplished through discovery of new zinc-base alloys having properties quite different than those of commercially pure metal, alloys can be divided into alloys for rolling and for casting.

**1931 – The Engineering Index – pág. 374**

*Tentative Specification for Zinc-Base Alloy Die Casting ( B86-31T)*, Am. Soc. Testing Matls. – tentative Standards, 1931, pp. 154-156.

**1931 – The Engineering Index – pág. 374**

*Zinc Die Castings*, W.M. Pierce and M. Stern, *Metal Progress*, vol. 20, n° 6, Dec. 1931, pp. 53-58. Typical applications of aluminum-copper-magnesium alloys 4:3:0,1% with data on composition and strength properties, recommendations for machining and electroplating.

**1931 – The Engineering Index – pág. 1572**

*Einfluss Geringer Mengen von Fremdmetallen auf die Eigenschaften von Raffinade zink ( influence of small quantities of Alloying Metal on Properties of refinery Zinc)*, O. Bauer and P. Zunker-Zeit, *Fuer Metallkunde*, vol. 23, n° 2, Feb. 1931, pp. 37-45 and (discussion) 45-47, translated abstract in *Metals Industry (Lond.)*, vol. 39, n° 26, Dec. 25, 1931, pp. 615. Chemical composition of Zinc employed in tests, additions of cadmium, copper, tin, iron, antimony and magnesium, and lead were made to zinc, in quantities ranging from 0,1 to 3 percent, determination of shrinkage, impact strength and Brinell hardness.

**1932 – The Engineering Index – pág. 59**

*Equilibrium relations in Aluminum-zinc Alloys of high purity*, W. L. Fink and D.R. Van Horn, *Am. Inst. Min. And Met. Engrs, Tech Pub*, n° 47, Feb 1932. Investigation of solubility relation by means of hardness measurement, electric conductivity measurement, microscopic examination, X-Ray methods.

**1932 – The Engineering Index – pág. 336**

*New Alloys and Improved Technique Extend use of Zinc Die Castings*, *Stell*, V. 91, n° 23, Dec. 5, 1932, pp. 21-3. Examples illustrating wide application of zinc-base die casting for carburators, machine-tools parts, clocks, etc.

**1932 – The Engineering Index – pág. 336**

*Zinc Alloy for Die casting Recently Improved*, J.B. Nealey, *Metal Progress* V. 22, n° 6, Dec. 1932, pp. 470-2. Information collected during research work by New Jersey Co. concerning

such properties as tensile strenght, enlongation and impact strenght; effect of aging and effect of stean test on "Zamak". Series of zinc-base die casting alloys; comparisons with other cast metals.

### 1933 – The Engeneering Index – pág. 292

*Four Zinc Alloys for Die-Catsing*, W.M. Pierce, *Product Eng.*, V. 4, n. 7, July 1933, pp. 263-4. As resul of recent melallurgical advances, numerous zinc die-casting alloy have been developed to meet specific exacting requirementes; such materials must have not only proper physical properties that it will not score mold, will have high fluidity at relatively low temperatures, and will not be subject to execessive aging effects after solidification.

### 1933 – The Engeneering Index – pág. 292

*More about Zinc, Metal you ought to know*, L.K. Urquhart, *Factory Industry Mgmt*, V. 84, n. 2, Feb. 1933, p. 54-6. Examples of use of Zinc Base alloss, for die casting;; some cost datas.

### 1933 – The Engeneering Index – pág. 292

*Tought, Strong, Permanent Die Casting*, D.L. Colwell, *Metal Progress*, V. 24, n.6, Dec. 1933, pp. 19-23. Test data on Zinc-Base alloys now being used widely in automotive construction, they have strenght and toughness of brass and are equally permanent in shape and properties even in hot, humid atmospheres.

### 1933 – The Engeneering Index – pág. 292

*Zinc Base Alloy Die casting find steadily widening field of automotive aplication*, J. Geschelin, *Automotive Industries*, V. 69, n°.3, July 15, 1933, p. 72-5. Aplications of these die castings of decorative purpose in automobile construction, in manufature of varied acessory itens, etc;; whenever this material is suitable, its use has been justified chiefly on base of utility and manufacturing economy. Table sowing use of zinc base alloy casting.

### 1934 – The Engeneering Index – pág. 287

*Dimensional changes in Die Casting Alloys*, R.G. Kemedý, *JR Metal & Alloys*, v.5, n. 5 and 6, May 1934, p. 106-9 and 112 and June, p. 124-6, *Metalurgist (supp to engineer)* August 31, 1934, p. 151-2, May: Study of mechanism of decomposition of unstable alloys phases, properties of metastable beta phase. June: Effect of temperature and of magnesium additon on role of decompositon of beta phase.

### 1934 – The Engeneering Index – pág. 288

*Studies of Phase Changes during Aging of Zinc-Alloy Die-Casting, 1. Eutetical decomposition of  $\beta$  Aluminum-zinc phase and its reation to dimensioal changes in Die Casting*, M.L.Fuller and R..L. Wilcox, *Am. Inst. Min. & Melt Engrs, Tech Pub. N.572 mtg*, Oct 1934, 17p. Special technique developed for study of . phase; eutectoidal decoposition on shrinkage occuring during aging of zinc alloy die castings.

### 1935 – The Engeneering Index – pág. 286

*Amerika schaetzt Zinkspritzguss! Und Deutschland?*, W. Mueller, *Machinenbau*, v.14, n. 3/4, feb. 1935, p. 67-72. Zinc die cating in America from German point of view; author

points to importance which pure zinc has gained in Germany during recent years and claims that it can be considered as domestic raw material; Status of zinc die casting outlined; it is shown how application of pure zinc and its alloys may be applied in mass production of die castings.

**1935 – The Engineering Index – pág. 1199**

*Legierungen auf Zink-Grundlage*, W. Claus, *V.D.I. Zeit*, v.79, n.12, Mar 23, 1935, p. 385-6. Review of great progress in production of zinc alloys, properties of such alloys.

**1935 – The Engineering Index – pág. 1199**

*Vergleichende Untersuchungen am Kupfer, Aluminium und manganhaltigen Zink-basis legierungen*; W. Guertler, F. Klemeta, W. Claus and E. Rickertsen, *Zeit fuer metallkunde*, v.27, n.1, Jan 1935, p. 1-10. Comparative studies of copper, aluminium and manganese zinc-base alloy with electrolytic zinc or refinery zinc as base metal; result of mechanical and chemical tests on number alloys in cast and rolled state to determine whether use of electrolytic in place of refinery zinc is favorable when applied to alloys.

**1936 – The Engineering Index – pág. 293**

*Manufacture of High purity Zinc and High Grade Zinc Die-Casting Alloys*, D.S. Burwood, *Metal Industry (Lond.)*, v.48, n.16, Apr. 17, 1936, p. 455-7. Notes on production of "Crown Special" Zinc and Mazak alloys, furnaces, illustrations.

**1937 – The Engineering Index**

*Zinc-Base Die-Casting Alloys*, H.L. Evans, *Metal Industry (Lond.)*, v.51, n.5 and 6, July 30, 1937, p. 105-9 and Aug. 6, p. 139-42. Effect of composition on structure and properties, aging changes; intercrystalline corrosion, testing and applications.

**1939 – The Engineering Index – pág. 305**

*Einfluss des Magnesiums und der Verunreinigungen auf die technischen Eigenschaften des Zinkspritzgusses auf ZnAlCu-Basis*, E.R. Taews, *Chemiker-ztg*, v.63, n.55, July 12, 1939, p.480-2. Influence of magnesium and of impurities on properties of zinc die castings on zinc aluminum copper base; investigation of effect of magnesium, lead, tin, iron, nickel and silicon.

**1940 – The Engineering Index – pág. 1337**

*Sul Comportamento, di front alla corrosione delle leghe tipo Zamak e derivate*, R. Piontelli and F. Cremascoli, *Metallurgia Italiana*, v.32, n.4, Apr.1940, p.123-54, see also *English Translation in metallurgia*, v.22, n.130, Aug. 1940, p.136. Review of literature and results of original experimental study of composition and properties of alloys of zinc with aluminum and copper, and with various admixtures such as magnesium, lithium and nickel; effects of presence of impurities and other factors on corrosion of zinc alloys under various atmospheric and temperature conditions, also in seawater and in ground.

**APÊNDICE III**

# Propriedades /Composições das ligas de Zinco para Fundição

A printed form of this table is in technical literature EAI-9

|                 |
|-----------------|
| <b>Alloy #3</b> |
|-----------------|

| Mechanical Properties                                                                  | Die Cast                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Ultimate Tensile Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                 | 41 (283)                 |
| Yield Strength - 0.2% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                              | 32 (221)                 |
| Elongation: % in 2"                                                                    | 10                       |
| Shear Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                            | 31 (214)                 |
| Hardness: Brinell                                                                      | 82                       |
| Impact Strength: ft-lb (J)                                                             | 43 <sup>2</sup> (58)     |
| Fatigue Strength Rotary Bend - 5 x 10 <sup>8</sup> cycles: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa) | 6.9 (48)                 |
| Comprehensive Yield Strength - 0.1% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                | 60 <sup>4</sup> (414)    |
| Modulus of Elasticity - psi x 10 <sup>6</sup> (MPa x 10 <sup>3</sup> )                 | 12.4 <sup>6</sup> (85.5) |

| Physical Properties                                                                         | Die Cast          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Density: lb/cu in (g/cm <sup>3</sup> )                                                      | .24 (6.6)         |
| Melting Range: °F (°C)                                                                      | 718-728 (381-387) |
| Electrical Conductivity: % IACS                                                             | 27                |
| Thermal Conductivity: BTU/ft/hr/°F (W/m/hr/°C)                                              | 65.3 (113.0)      |
| Coefficient of Thermal Expansion 68-212°F<br>microinches/in°F (100-200°C microinches/mm/°C) | 15.2 (27.4)       |
| Specific Heat: BTU/lb/°F (J/kg/°C)                                                          | .10 (419)         |
| Pattern or Die Shrinkage: in/in                                                             | .007              |

| Chemical Specifications<br>(per ASTM) (% by weight) | Ingot    | Casting              |
|-----------------------------------------------------|----------|----------------------|
| Al                                                  | 3.9-4.3  | 3.5-4.3              |
| Mg                                                  | .025-.05 | .020-.05             |
| Cu                                                  | .10 max  | .25 max <sup>9</sup> |
| Fe (max)                                            | .075     | .10                  |
| Pb (max)                                            | .004     | .005                 |
| Cd (max)                                            | .003     | .004                 |
| Sn (max)                                            | .002     | .003                 |
| Ni (other) <sup>10</sup>                            | -        | -                    |
| Zn                                                  | Balance  | Balance              |

| Industry Standards | Ingot       | Casting    |
|--------------------|-------------|------------|
| ASTM               | B240; AG40A | B86; AG40A |
| SAE                | J468B; 903  | J468B; 903 |
| UNS                | Z33521      | Z33520     |

## Alloy #5

| Mechanical Properties                                                                  | Die Cast                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Ultimate Tensile Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                 | 48 (328)                 |
| Yield Strength - 0.2% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                              | 33 (228)                 |
| Elongation: % in 2"                                                                    | 7                        |
| Shear Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                            | 38 (262)                 |
| Hardness: Brinell                                                                      | 91                       |
| Impact Strength: ft-lb (J)                                                             | 48 <sup>2</sup> (65)     |
| Fatigue Strength Rotary Bend - 5 x 10 <sup>8</sup> cycles: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa) | 8.2 (57)                 |
| Comprehensive Yield Strength - 0.1% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                | 87 <sup>4</sup> (600)    |
| Modulus of Elasticity - psi x 10 <sup>6</sup> (MPa x 10 <sup>3</sup> )                 | 12.4 <sup>6</sup> (85.5) |

| Physical Properties                                                                         | Die Cast          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Density: lb/cu in (g/cm <sup>3</sup> )                                                      | .24 (6.6)         |
| Melting Range: °F (°C)                                                                      | 717-727 (380-386) |
| Electrical Conductivity: % IACS                                                             | 26                |
| Thermal Conductivity: BTU/ft/hr/°F (W/m/hr/°C)                                              | 62.9 (108.9)      |
| Coefficient of Thermal Expansion 68-212°F<br>microinches/in°F (100-200°C microinches/mm/°C) | 15.2 (27.4)       |
| Specific Heat: BTU/lb/°F (J/kg/°C)                                                          | .10 (419)         |
| Pattern or Die Shrinkage: in/in                                                             | .007              |

| Chemical Specifications<br>(per ASTM) (% by weight) | Ingot    | Casting  |
|-----------------------------------------------------|----------|----------|
| Al                                                  | 3.9-4.3  | 3.5-4.3  |
| Mg                                                  | .03-.06  | .03-.08  |
| Cu                                                  | .75-1.25 | .75-1.25 |
| Fe (max)                                            | .075     | .10      |
| Pb (max)                                            | .004     | .005     |
| Cd (max)                                            | .003     | .004     |
| Sn (max)                                            | .002     | .003     |
| Ni (other) <sup>10</sup>                            | -        | -        |
| Zn                                                  | Balance  | Balance  |

| Industry Standards | Ingot       | Casting    |
|--------------------|-------------|------------|
| ASTM               | B240; AC41A | B86; AC41A |
| SAE                | J468B; 925  | J468B; 925 |
| UNS                | Z35530      | Z35531     |

## Alloy #7

| Mechanical Properties                                                                  | Die Cast                |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Ultimate Tensile Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                 | 41 (283)                |
| Yield Strength - 0.2% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                              | 32 (221)                |
| Elongation: % in 2"                                                                    | 13                      |
| Shear Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                            | 31 (214)                |
| Hardness: Brinell                                                                      | 80                      |
| Impact Strength: ft-lb (J)                                                             | 43 <sup>2</sup> (58)    |
| Fatigue Strength Rotary Bend - 5 x 10 <sup>8</sup> cycles: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa) | 6.8 (47)                |
| Comprehensive Yield Strength - 0.1% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                | 60 <sup>4</sup> (414)   |
| Modulus of Elasticity - psi x 10 <sup>6</sup> (MPa x 10 <sup>3</sup> )                 | 12.4 <sup>6</sup> (8.5) |

| Physical Properties                                                                         | Die Cast          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Density: lb/cu in (g/cm <sup>3</sup> )                                                      | .24 (6.6)         |
| Melting Range: °F (°C)                                                                      | 718-728 (381-387) |
| Electrical Conductivity: % IACS                                                             | 27                |
| Thermal Conductivity: BTU/ft/hr/°F (W/m/hr/°C)                                              | 65.3 (113.0)      |
| Coefficient of Thermal Expansion 68-212°F<br>microinches/in°F (100-200°C microinches/mm/°C) | 15.2 (27.4)       |
| Specific Heat: BTU/lb/°F (J/kg/°C)                                                          | .10 (419)         |
| Pattern or Die Shrinkage: in/in                                                             | .007              |

| Chemical Specifications<br>(per ASTM) (% by weight) | Ingot     | Casting   |
|-----------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Al                                                  | 3.9-4.3   | 3.5-4.3   |
| Mg                                                  | .01-.020  | .005-.020 |
| Cu                                                  | .10 max   | .25 max   |
| Fe (max)                                            | .075      | .10       |
| Pb (max)                                            | .0020     | .003      |
| Cd (max)                                            | .0020     | .002      |
| Sn (max)                                            | .0010     | .001      |
| Ni (other) <sup>10</sup>                            | .005-.020 | .005-.020 |
| Zn                                                  | Balance   | Balance   |

| Industry Standards | Ingot <sup>5</sup> | Casting    |
|--------------------|--------------------|------------|
| ASTM               | B240; AG40B        | B86; AG40B |
| SAE                | ---                | ---        |
| UNS                | Z33522             | Z33523     |

## Alloy #2

| Mechanical Properties                                                                  | Die Cast                |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Ultimate Tensile Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                 | 52 (359)                |
| Yield Strength - 0.2% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                              | -                       |
| Elongation: % in 2"                                                                    | 7                       |
| Shear Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                            | 46 (317)                |
| Hardness: Brinell                                                                      | 100                     |
| Impact Strength: ft-lb (J)                                                             | 35 <sup>2</sup> (48)    |
| Fatigue Strength Rotary Bend - 5 x 10 <sup>8</sup> cycles: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa) | 8.5 (59)                |
| Comprehensive Yield Strength - 0.1% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                | 93 <sup>4</sup> (641)   |
| Modulus of Elasticity - psi x 10 <sup>6</sup> (MPa x 10 <sup>3</sup> )                 | 12.4 <sup>6</sup> (8.5) |

| Physical Properties                                                                         | Die Cast          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Density: lb/cu in (g/cm <sup>3</sup> )                                                      | .24 (6.6)         |
| Melting Range: °F (°C)                                                                      | 715-734 (379-390) |
| Electrical Conductivity: % IACS                                                             | 25                |
| Thermal Conductivity: BTU/ft/hr/°F (W/m/hr/°C)                                              | 60.5 (104.7)      |
| Coefficient of Thermal Expansion 68-212°F<br>microinches/in°F (100-200°C microinches/mm/°C) | 15.4 (27.8)       |
| Specific Heat: BTU/lb/°F (J/kg/°C)                                                          | .10 (419)         |
| Pattern or Die Shrinkage: in/in                                                             | .007              |

| Chemical Specifications<br>(per ASTM) (% by weight) | Ingot    | Casting   |
|-----------------------------------------------------|----------|-----------|
| Al                                                  | 3.9-4.3  | 3.5-4.3   |
| Mg                                                  | .025-.05 | .020-.050 |
| Cu                                                  | 2.6-2.9  | 2.5-3.0   |
| Fe (max)                                            | .075     | .10       |
| Pb (max)                                            | .004     | .005      |
| Cd (max)                                            | .003     | .004      |
| Sn (max)                                            | .002     | .003      |
| Ni (other) <sup>10</sup>                            | ---      | ---       |
| Zn                                                  | Balance  | Balance   |

| Industry Standards | Ingot <sup>5</sup> | Casting    |
|--------------------|--------------------|------------|
| ASTM               | B240; AC43A        | B86; AC43A |
| SAE                | Former             | 921        |
| UNS                | Z35540             | Z35541     |

## Alloy ZA-8

| Mechanical Properties                                                                  | Perm Mold            | Die Cast             | Sand Cast   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| Ultimate Tensile Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                 | 38 (263)             | 32-37 (221-255)      | 54 (374)    |
| Yield Strength - 0.2% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                              | 29 (200)             | 30 (206)             | 42 (290)    |
| Elongation: % in 2"                                                                    | 1-2                  | 1-2                  | 6-10        |
| Shear Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                            | -                    | 35 (241)             | 40 (275)    |
| Hardness: Brinell                                                                      | 85                   | 85-90                | 95-110      |
| Impact Strength: ft-lb (J)                                                             | 15 <sup>6</sup> (20) | 31 <sup>3</sup> (42) | -           |
| Fatigue Strength Rotary Bend - 5 x 10 <sup>6</sup> cycles: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa) | -                    | 7.5 (52)             | 15 (103)    |
| Comprehensive Yield Strength - 0.1% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                | 29 (199)             | 31 (214)             | 37 (252)    |
| Modulus of Elasticity - psi x 10 <sup>6</sup> (MPa x 10 <sup>3</sup> )                 | -                    | 12.4 (85.5)          | 12.4 (85.5) |

| Physical Properties                                                                          | Die Cast          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Density: lb/cu in (g/cm <sup>3</sup> )                                                       | 0.227 (6.3)       |
| Melting Range: °F (°C)                                                                       | 707-759 (375-404) |
| Electrical Conductivity: % IACS                                                              | 27.7              |
| Thermal Conductivity: BTU/ft/hr/°F (W/m/hr/°C)                                               | 66.3 (114.7)      |
| Coefficient of Thermal Expansion 68-212°F<br>microinches/in/°F (100-200°C microinches/mm/°C) | 12.9 (23.3)       |
| Specific Heat: BTU/lb/°F (J/kg/°C)                                                           | .104 (435)        |
| Pattern or Die Shrinkage: in/in 1/8 in/ft                                                    | .007              |

| Chemical Specifications<br>(per ASTM) (% by weight) | Ingot     | Casting   |
|-----------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Al                                                  | 8.2-8.8   | 8.0-8.8   |
| Mg                                                  | .020-.030 | .015-.030 |
| Cu                                                  | 0.8-1.3   | .8-1.3    |
| Fe (max)                                            | .065      | .075      |
| Pb (max)                                            | .005      | .006      |
| Cd (max)                                            | .005      | .006      |
| Sn (max)                                            | .002      | .003      |
| Ni (other) <sup>10</sup>                            | ---       | ---       |
| Zn                                                  | Balance   | Balance   |

| Industry Standards | Ingot <sup>5</sup>      | Casting                 |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| ASTM               | B669(B240) <sup>8</sup> | B791 (B86) <sup>8</sup> |
| SAE                | ---                     | ---                     |
| UNS                | Z35635                  | Z35636                  |



## Alloy ZA-12

| Mechanical Properties                                                                  | Perm Mold            | Die Cast                 | Sand Cast            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|
| Ultimate Tensile Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                 | 40-46<br>(276-317)   | 45-50<br>(310-345)       | 58 (400)             |
| Yield Strength - 0.2% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                              | 31 (214)             | 39 (269)                 | 46 (317)             |
| Elongation: % in 2"                                                                    | 1-3                  | 1-3                      | 4-7                  |
| Shear Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                            | 37 (255)             | ---                      | 43 (296)             |
| Hardness: Brinell                                                                      | 89-105               | 89-105                   | 95-115               |
| Impact Strength: ft-lb (J)                                                             | 19 <sup>3</sup> (25) | ---                      | 21 <sup>3</sup> (29) |
| Fatigue Strength Rotary Bend - 5 x 10 <sup>8</sup> cycles: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa) | 15 (103)             | ---                      | 17 (117)             |
| Comprehensive Yield Strength - 0.1% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                | 33 (227)             | 34 (234)                 | 39 (269)             |
| Modulus of Elasticity - psi x 10 <sup>6</sup> (MPa x 10 <sup>3</sup> )                 | ---                  | 12.0 <sup>7</sup> (82.7) | ---                  |

| Physical Properties                                                                         | Die Cast          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Density: lb/cu in (g/cm <sup>3</sup> )                                                      | 0.218 (6.0)       |
| Melting Range: °F (°C)                                                                      | 710-810 (377-432) |
| Electrical Conductivity: % IACS                                                             | 28.3              |
| Thermal Conductivity: BTU/ft/hr/°F (W/m/hr/°C)                                              | 67.1 (116.1)      |
| Coefficient of Thermal Expansion 68-212°F<br>microinches/in°F (100-200°C microinches/mm/°C) | 13.4 (24.2)       |
| Specific Heat: BTU/lb/°F (J/kg/°C)                                                          | .107 (448)        |
| Pattern or Die Shrinkage: in/in 1/8 in/ft 5/32 in/ft                                        | .0075             |

| Chemical Specifications<br>(per ASTM) (% by weight) | Ingot     | Casting   |
|-----------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Al                                                  | 10.8-11.5 | 10.5-11.5 |
| Mg                                                  | .020-.030 | .015-.030 |
| Cu                                                  | 0.5-1.2   | 0.5-1.2   |
| Fe (max)                                            | .065      | .075      |
| Pb (max)                                            | .005      | .006      |
| Cd (max)                                            | .005      | .006      |
| Sn (max)                                            | .002      | .003      |
| Ni (other) <sup>10</sup>                            | ---       | ---       |
| Zn                                                  | Balance   | Balance   |

| Industry Standards | Ingot                   | Casting                 |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| ASTM               | B669(B240) <sup>8</sup> | B791 (B86) <sup>8</sup> |
| SAE                | ---                     | ---                     |
| UNS                | Z35630                  | Z35631                  |

## Alloy ZA-27

| Mechanical Properties                                                                  | Sand Cast            | Sand Cast HT <sup>1</sup> | Die Cast           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|
| Ultimate Tensile Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                 | 58-64<br>(400-441)   | 45-47<br>(310-324)        | 61 (421)           |
| Yield Strength - 0.2% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                              | 54 (372)             | 37 (255)                  | 55 (379)           |
| Elongation: % in 2"                                                                    | 3-6                  | 8-11                      | 1-3                |
| Shear Strength: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                                            | 42 (290)             | 33 (228)                  | 47 (325)           |
| Hardness: Brinell                                                                      | 110-120              | 90-110                    | 105-125            |
| Impact Strength: ft-lb (J)                                                             | 35 <sup>3</sup> (47) | 43 <sup>3</sup> (58)      | 9 <sup>3</sup> (5) |
| Fatigue Strength Rotary Bend - 5 x 10 <sup>8</sup> cycles: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa) | 25 (172)             | 15 (103)                  | 21 (145)           |
| Comprehensive Yield Strength - 0.1% Offset: psi x 10 <sup>3</sup> (MPa)                | 48 (331)             | 37 (255)                  | 52 (385)           |
| Modulus of Elasticity - psi x 10 <sup>6</sup> (MPa x 10 <sup>3</sup> )                 | ---                  | 11.3 <sup>7</sup> (77.9)  | ---                |

| Physical Properties                                                                          |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Density: lb/cu in (g/cm <sup>3</sup> )                                                       | 0.181 (5.0)       |
| Melting Range: °F (°C)                                                                       | 708-903 (376-484) |
| Electrical Conductivity: % IACS                                                              | 29.7              |
| Thermal Conductivity: BTU/ft/hr/°F (W/m/hr/°C)                                               | 72.5 (125.5)      |
| Coefficient of Thermal Expansion 68-212°F<br>microinches/in/°F (100-200°C microinches/mm/°C) | 14.4 (26.0)       |
| Specific Heat: BTU/lb/°F (J/kg/°C)                                                           | .125 (534)        |
| Pattern or Die Shrinkage: in/in 5/32 in/ft 5/32 in/ft                                        | .008              |

| Chemical Specifications<br>(per ASTM) (% by weight) | Ingot     | Casting   |
|-----------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Al                                                  | 25.5-28.0 | 25.0-28.0 |
| Mg                                                  | .012-.020 | .010-.020 |
| Cu                                                  | 2.0-2.5   | 2.0-2.5   |
| Fe (max)                                            | .072      | .075      |
| Pb (max)                                            | .005      | .006      |
| Cd (max)                                            | .005      | .006      |
| Sn (max)                                            | .002      | .003      |
| Ni (other) <sup>10</sup>                            | ---       | ---       |
| Zn                                                  | Balance   | Balance   |

| Industry Standards | Ingot                   | Casting                |
|--------------------|-------------------------|------------------------|
| ASTM               | B669(B240) <sup>8</sup> | B86(B791) <sup>8</sup> |
| SAE                | ---                     | ---                    |
| UNS                | Z35840                  | Z35841                 |

---

**Notes**

- (1) 3 hr at 610° F and furnace cool.
  - (2) 1/4" square specimen unnotched.
  - (3) 10 mm square specimen unnotched.
  - (4) Not .1% offset
  - (5) Previous industry accepted standard.
  - (6) Estimated values to be confirmed by research.
  - (7) Values for permanent mold condition which should be similar for other processes except for ZA-27 Sand Cast Heat Treat (HT).
  - (8) Revision for standard anticipated 1998.
  - (9) Per ASTM B86-88, \* For the majority of commercial applications, a copper content in the range of 0.25 to 0.75% will not adversely affect the serviceability of die castings and should not serve as a basis for rejection.\*
  - (10) Zamak alloy ingot for die casting (with the exception of % Ni in No. 7) may contain Ni, Cr, Mn, Si, in amounts of up to 0.02, 0.02, 0.06 and 0.035% respectively. ZA Ingot for foundry and pressure die casting may contain Ni, Cr, or Mn in amounts of up to 0.01% each or 0.03% total.
- 

Estas informações sobre as propriedades e composições das ligas de zinco-alumínio para fundição foram obtidas na Referência 1

## APÊNDICE VI

### Informações e Propriedades do Latão ao Manganês ( ref. (10) )

**Latão ao Manganês ( 65 kpsi)**

**Composição:** 57,5 Cu – 39,25 Zn – 1,25 Fe – 1,25 Al – 0,25 Mn

**Nome Comercial:** Latão amarelo de alta resistência

**Número ASTM:** B30, alloy 8A ; B 147, alloy 8A ; B271, alloy 8<sup>A</sup>

**Usos Típicos:**

- . cubos de hélice
- . palhetas de hélice e outras partes em contato com água salgada ou doce
- . engrenagens
- . navio / avião ( de linhas de navegação )

**Densidade:** T20°C = 8,3 g/cm<sup>3</sup>

**Temperatura:**      *Liquidus* = 880°C      *Solidus* = 862°C

**Temperatura de Fundição:** 1900 - 2000 °F = 1040 – 1095°C ( peças leves )

- . não é necessário o uso de desoxidante
- . fusão em atmosfera oxidante

**Limites de Composição (lingote):**

55,0 – 60,0 Cu ; 0,4 – 2,0 Fe ; 0,5 – 1,5 Al ; 1,5 máx. Mn ; 0,3 máx. Pb  
1,0 máx. Sn ; 0,5 máx Ni ; restante de Zn

**Propriedades Mecânicas:** Valores nominais para fundidos em molde de areia

- . Limite de resistência: 71 kpsi
- . Limite de escoamento (0,5%): 25,8 kpsi
- . Enlongação: 40%
- . Dureza Brinell: 98 ( 500 kg load – 10 mm ball )
- . Contração de solidificação: 15 / 64 in / ft
- . Condutividade IACS: 20,6 %
- . Alívio de tensões: 175 – 205 °C

**Função dos elementos de liga:**

- . Al, Mn: aumentam o limite de resistência da liga formam estrutura bifásica
- . Fe: ajuda a refinar os grãos aumentando a resistência
- . Mn, Ni: permite tratamento térmico de precipitação para aumento da resistência.