

Análise dos efeitos da adição de alumina (Al_2O_3) na microestrutura e dureza do Zamac 5 fundido por gravidade

Felipe Baptista Dieter¹
Leonardo Felix Scheffel¹
Fernando Dal Pont Morisso¹
Carlos Leonardo Pandolfo Carone¹
Sandra Raquel Kunst¹
Luciane Taís Führ¹
Mariane Fernandes¹
Luã Tainachi Mueller¹
Eduardo Luís Schneider²
Felipe Dalla Vechia³
Cláudia Trindade Oliveira^{1*}

Resumo

O objetivo deste trabalho foi verificar se é possível a incorporação Al_2O_3 à liga de Zamac por meio do processo de fundição por gravidade. Para isto amostras de Zamac foram fundidas em triplicata, sem e com adições de 0,1%, 0,5% e 7% em massa de óxido de alumínio. Análises ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), medição dos tamanhos de grão e ensaio de dureza das amostras fundidas foram realizados para validação da incorporação da alumina à liga. Após analisar os resultados, verificou-se que a alumina foi satisfatoriamente incorporada à liga. No entanto, a incorporação de Al_2O_3 foi baixa e em forma de *clusters*. Ainda foi verificado que a adição de alumina não causou alterações na microestrutura da nova liga, entretanto, quando comparada com a amostra sem adição de alumina, foi constatado um aumento de 4% na dureza da amostra fundida com 7% de Al_2O_3 .

Palavras-chave: Zamac; Fundição; Alumina.

Analysis of the effects of alumina (Al_2O_3) addition in microstructure and hardness in Zamac 5 by gravity

Abstract

The objective of this work was to verify if it is possible to incorporate aluminum oxide into the Zamak alloy through the die casting process. For this purpose Zamak samples were melted in triplicates, without and with additions of 0.1%, 0.5% and 7% by mass of aluminum oxide. Scanning Electronic Microscopy (SEM) analysis, grain size measurements as well as hardness tests were performed in order to validate the incorporation of the alumina to the Zamak alloy. After analyzing the results, it was verified that the alumina was satisfactorily incorporated into the alloy. Besides that, there was a low oxide incorporation, and in the form of clusters. It was also verified that the alumina added did not cause changes in the new alloy's microstructure, however, when compared with the pure sample, an increase of 4% in the hardness of sample casted with 7% of Al_2O_3 was found.

Keywords: Zamak; Casting; Aluminum oxide.

¹Instituto de Ciências Criativas e Tecnológicas – ICCT, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil.

²Departamento de Engenharia de Materiais – DEMAT, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

³Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais – IPR, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS, Porto Alegre, RS, Brasil.

*Autor correspondente: ctofevale@gmail.com



1 Introdução

Cada vez mais a indústria de peças fundidas, que não requerem alta resistência mecânica ou que não são utilizadas em aplicações de grande responsabilidade, está utilizando ligas de Zamac como alternativa para a redução de custos. Segundo Brady [1], estas ligas estão sendo empregadas principalmente em peças decorativas e sanitárias, como maçanetas, botões, fixadores, suportes, que requerem um acabamento superficial suave e preciso. Além disto, Lima [2] comenta que o Zamac também possui aplicações no setor automotivo, brinquedos, indústria moveleira, eletrodomésticos.

O mercado de produtos de uso sanitário, por sua vez, exige peças leves e com aspecto espelhado brilhante. Desta maneira, o Zamac é uma excelente alternativa de substituição ao latão (até então muito empregado), pois apresenta desempenho mecânico similar e pode ser fundido através do processo de injeção sob pressão, o que permite a obtenção de peças de geometria complexa, em grande escala de produção e, principalmente, com uma redução na espessura do produto final. Esta redução de espessura impacta diretamente na quantidade de material utilizado, o que por sua vez reflete em um custo de produção menor [3].

Entretanto, uma desvantagem das peças em Zamac, frente às de latão, é sua baixa resistência à corrosão. Isto se deve principalmente à grande porosidade na superfície do produto após este ser injetado, fator inerente ao processo. Desta forma, a rejeição de peças também é alta, pois não atendem ao requisito mínimo de tempo de exposição em ambientes agressivos, ou seja, de 144 horas de exposição em névoa salina [4].

Buscando encontrar alternativas para este processo produtivo, o tema central deste estudo consiste em avaliar técnicas para resolução de defeitos decorrentes da fundição de peças em Zamac realizada pelo método de fundição por gravidade em molde de areia. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi verificar se é possível a incorporação de óxido de alumínio à liga de Zamac por meio do processo de fundição por gravidade. Nesse sentido, se espera que os resultados iniciais obtidos neste trabalho inédito possam contribuir com o desenvolvimento de novos processos e ligas de Zamac com maior resistência à corrosão.

Adicionalmente, esta pesquisa pode trazer benefícios ecológicos à sociedade, pois contribui para a eliminação dos desperdícios de processo por não atenderem às normas de qualidade. Isto reduz o impacto ambiental causado pelo descarte ou reprocessamento do material, assim como o consumo de matéria-prima.

2 Materiais e métodos

O trabalho experimental realizado teve a finalidade de obtenção de peças fundidas de Zamac, com resfriamento ao ar, além da adição de nanocargas de óxido de alumínio ao banho de fusão. Para tanto, foram efetuadas análises de dureza e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) destas amostras.

2.1 Fabricação das peças

O material fundido foi o ZAMAC 5, obtido na forma de lingote através da empresa Alumiza Indústria e Comércio de Metais Ltda, com e sem adições de partículas de óxido de alumínio marrom (Al_2O_3) ao banho de fusão. A Alumina utilizada apresenta 96,98% de pureza e densidade de 3,97 g/cm³. A empresa que forneceu alumina é a Helager Indústria e Comércio de Abrasivos Ltda. A Tabela 1 apresenta a composição da liga utilizada neste trabalho.

Inicialmente os lingotes de Zamac foram fundidos em um recipiente de aço, conforme Figura 1, o qual foi colocado em um forno de modelo Fundlab da marca Sanchis. Para este processo foi empregada uma temperatura de 430°C.

Juntamente com o Zamac, foram acrescentadas partículas de óxido de alumínio nas concentrações de 0,1%, 0,5% e 7% em peso. Após a fusão total do material, o banho foi agitado com um bastão de aço. A escolha da alumina foi feita levando em consideração seu altíssimo ponto de fusão (2.040 °C), o que impede sua fundição no processo. Com isso, esperava-se que houvesse a formação de precipitados na matriz de Zamac [5]. Além disto, o Zamac possui alumínio em sua composição química, o que torna o óxido de alumínio uma escolha conservadora em termos de compatibilidade [6].

Em seguida, o lote fundido foi vazado em um molde de areia (Figura 2). Após o resfriamento completo ao ar, o molde foi quebrado com um martelo de borracha para retirada da amostra.

2.2 Procedimentos de análise

Para melhor organização e compreensão das análises, as amostras foram nomeadas de acordo com o percentual em massa adicionado de alumina, indicado como (%) na Tabela 2. Os algarismos justapostos ao hífen da amostra indicam a quantidade de alumina adicionada, sendo 01 para 0,1%. Já os algarismos após o ponto representam os lotes, pois foram feitas triplicatas de cada amostra.

2.3 Preparação das amostras

As amostras fundidas foram cortadas, lixadas e polidas em uma polítrix rotativa modelo Polipan-U da marca Pantec.

Tabela 1. Composição da liga de Zamac 5

| Zamac 5 | Cu | Mg | Al | Sn | Pb | Fe | Ni | Mn | Cd | Zn |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 0,928 | 0,033 | 3,891 | 0,001 | 0,003 | 0,003 | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 95,133 |

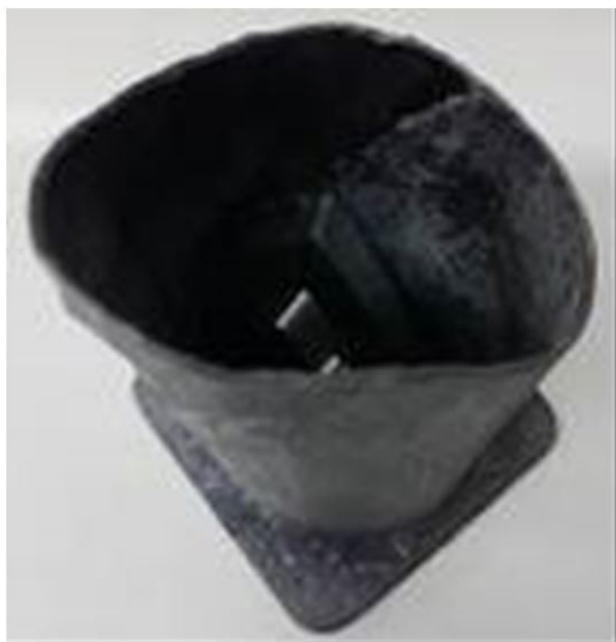


Figura 1. Recipiente de aço para fundição das amostras de Zamac.



Figura 2. Molde de areia.

O lixamento foi realizado com lixas de carbetto de silício, até lixa #4000, e polimento com pasta de alumina, $0,3 \mu m$.

As análises foram feitas em regiões da amostra, identificadas por pontos, conforme figura 3.

Os pontos de análise foram escolhidos como região de topo, meio e fundo, a partir da parte externa para a parte interna do molde de areia.

2.4 Caracterização das amostras

As amostras foram caracterizadas quanto à microestrutura por meio de ataque metalográfico com nital 5% e analisadas

Tabela 2. Nomenclatura das amostras de acordo com as condições de fundição

| Amostra | Massa Zamac | Massa Al_2O_3 | % Al_2O_3 |
|----------|-------------|-----------------|-------------|
| ZP.1 | 367,84 g | - | - |
| ZP.2 | 321,22 g | - | - |
| ZP.3 | 347,11 g | - | - |
| ZAL-01.1 | 313,93 g | 0,31 g | 0,10% |
| ZAL-01.2 | 297,45 g | 0,30 g | 0,10% |
| ZAL-01.3 | 308,98 g | 0,31 g | 0,10% |
| ZAL-05.1 | 402,92 g | 2,01 g | 0,50% |
| ZAL-05.2 | 316,53 g | 1,58 g | 0,50% |
| ZAL-05.3 | 286,62 g | 1,43 g | 0,50% |
| ZAL-7.1 | 308,48 g | 21,60 g | 7,00% |
| ZAL-7.2 | 302,37 g | 21,17 g | 7,00% |
| ZAL-7.3 | 287,44 g | 20,12 g | 7,00% |

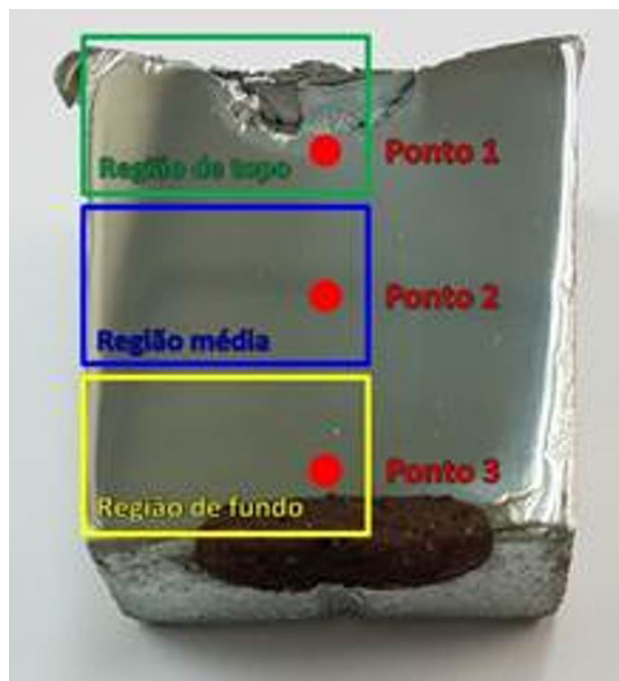


Figura 3. Pontos de referência nas amostras fundidas para análise ao MEV e ensaio de dureza.

em vista de topo ao MEV, modelo JSM-6510LV, marca Jeol. O tamanho de grão das amostras foi obtido com auxílio da ferramenta Microsoft Powerpoint. Ao traçar retas no Powerpoint, ele informa os pontos “X” e “Y” da reta. Sendo assim, foram traçadas retas na linha branca do tamanho de escala de cada imagem e com isto se obteve uma proporção para converter as “unidades Powerpoint” para o tamanho real da imagem. Ao total foram medidos 20 grãos de cada uma das 32 imagens obtidas. Após a obtenção dos valores em “X” e “Y”, foi calculado o comprimento da reta para determinar qual o tamanho do grão. Por fim, foi realizada uma média aritmética.

Para realizar a análise de dureza foi utilizado um durômetro da marca Shimadzu modelo HMV – 2T, com carga de 100 gramas e tempo aplicado da carga de 15 segundos.

Os ensaios de dureza foram realizados em um durômetro, seguindo a metodologia Rockwell B. O penetrador do equipamento é de aço com base esferoidal de 5 mm de diâmetro, com o qual foi aplicada uma carga estática de 250kg durante 15 segundos na amostra. Neste ensaio foram realizadas nove indentações, sendo três em cada região da amostra. Após isto, foi calculada uma média aritmética para cada região e uma para a amostra individualmente.

3. Resultados

3.1 Caracterização morfológica

Na Figura 4 são apresentadas as micrografias das amostras fundidas ZP, ZAL-01, ZAL-05 e ZAL-7 no ponto 1. Nesse ponto, que é o mais próximo em contato com o ar, existe uma grande semelhança no tamanho dos grãos e na formação eutética das ligas. Observa-se que todas as micrografias relacionadas ao ponto 1 apresentam grãos bem definidos e aparentemente em maior proporção que a fase eutética. Desta forma, não há alteração perceptível por imagem causada pela adição de alumina à liga.

Para o ponto 2, situado na Região média da peça, também não há mudança significativa percebida e que possa ter sido causada pela incorporação da alumina (Figura 5). Neste local percebe-se uma alteração nos contornos dos grãos bem como na quantidade da fase eutética, que parece ser maior comparativamente ao ponto 1.

Na análise das Regiões das amostras (Figura 6) verifica-se novamente semelhança entre as 4 microestruturas, não sendo possível identificar mudanças causadas pela adição de Al_2O_3 no ponto 3. Entretanto, para o ponto de análise observa-se uma drástica alteração na microestrutura das ligas, quando comparada com os pontos 1 e 2. Isto se deve à velocidade de resfriamento, que causa, além do aspecto dendrítico dos grãos, redução de seu tamanho, a uma quantidade maior da fase eutética em seus contornos e ao crescimento não homogêneo dos grãos, resultando em grãos muito próximos uns dos outros [7].

Uma vez que não houve mudança significativa, ocasionada pela adição de alumina nas microestruturas das ligas, buscou-se localizar a alumina na liga de Zamac. Dessa forma, foram encontradas inclusões de partículas que não eram oriundas e esperados na microestrutura estudada e que provavelmente seriam o óxido de alumínio que foi incorporado à liga. Assim, a figura 7 mostra micrografias

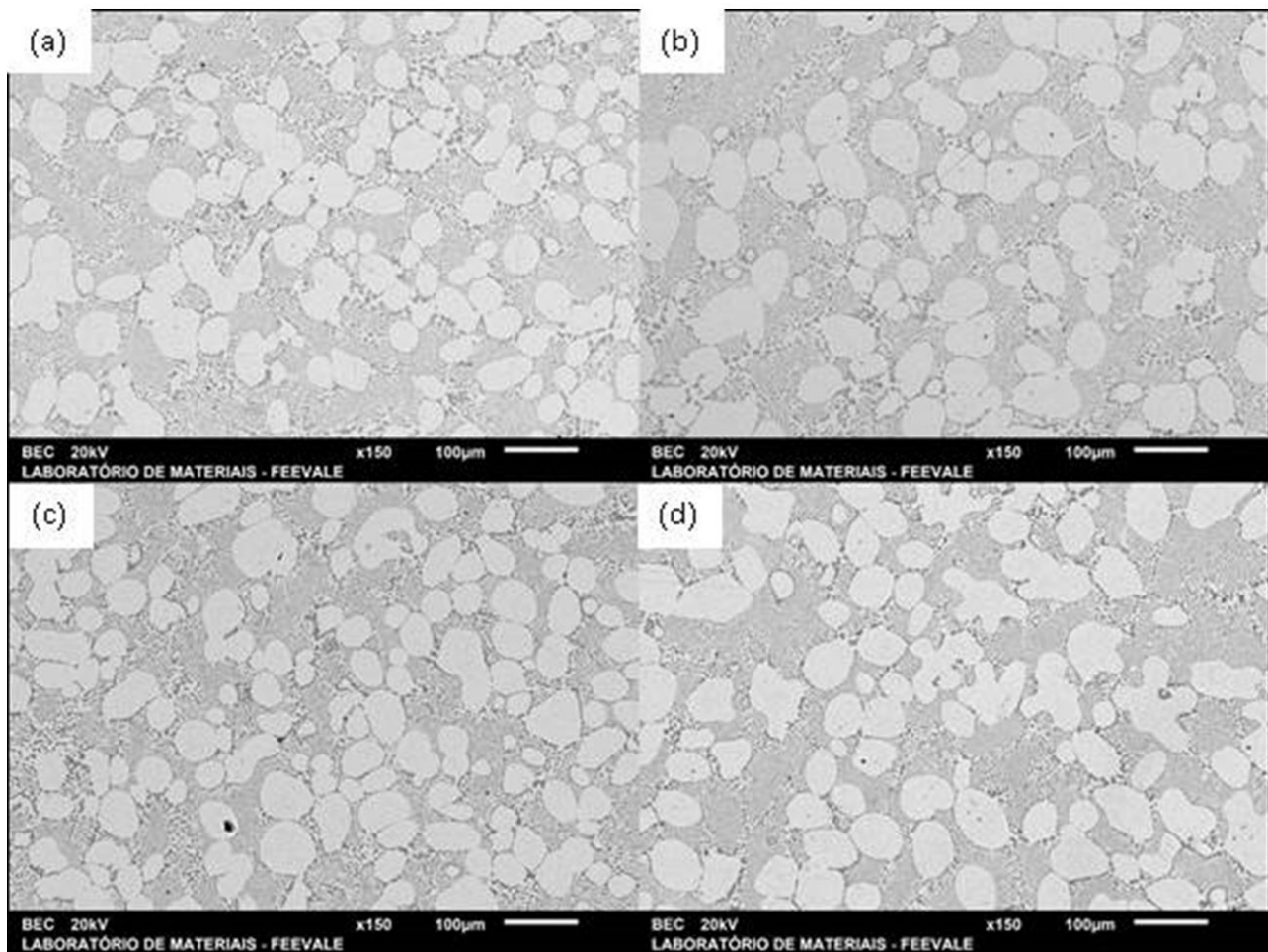


Figura 4. Micrografias obtidas ao MEV da Região de topo (ponto 1) das amostras (a) ZP, (b) ZAL-01, (c) ZAL-05 e (d) ZAL-7.

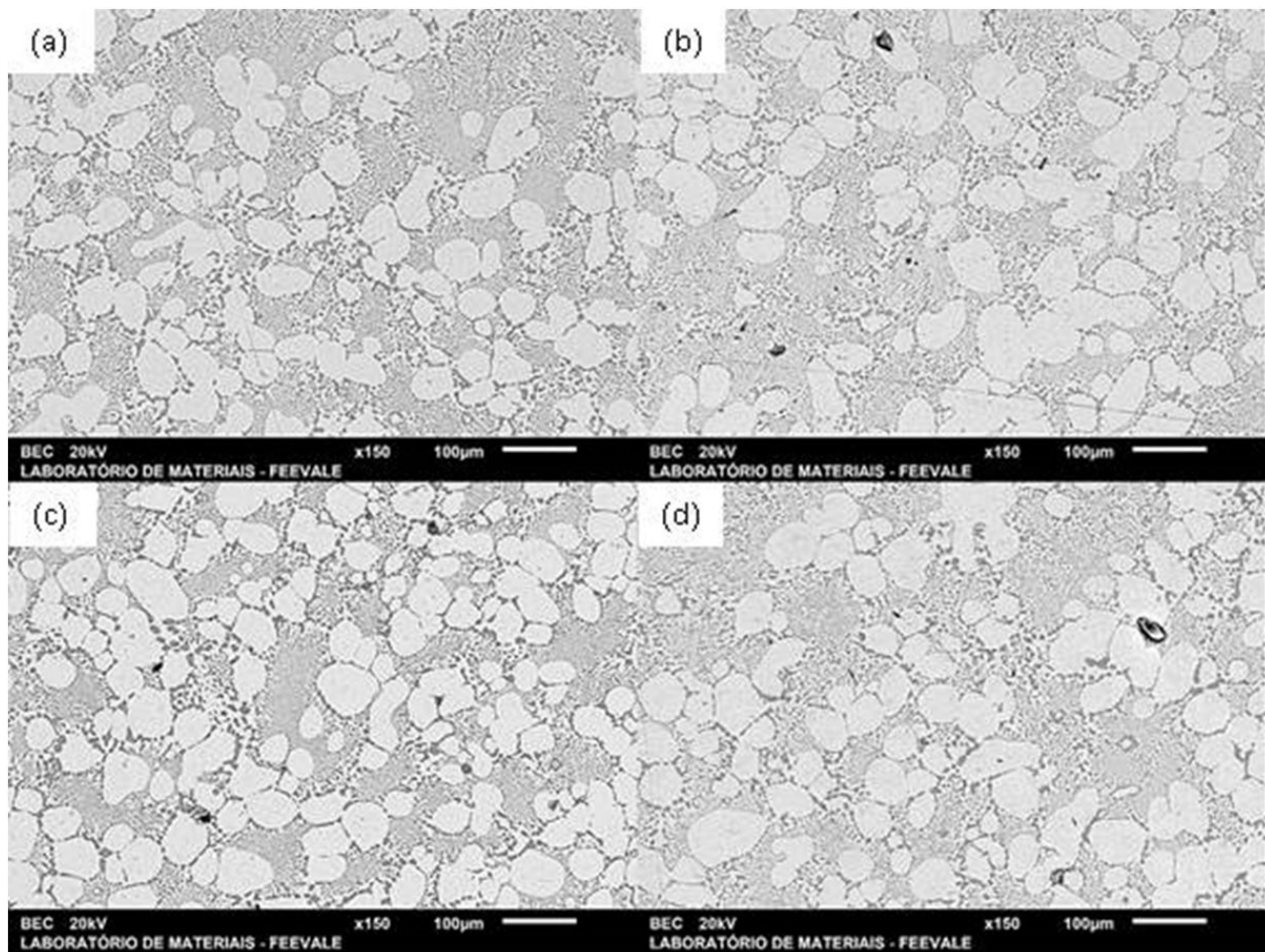


Figura 5. Micrografias obtidas ao MEV dos pontos 2 das amostras (a) ZP, (b) ZAL-01, (c) ZAL-05 e (d) ZAL-7.

em maior ampliação para as amostras (a) ZAL-01, (b) ZAL-05 e (c) ZAL-07, em que podem ser observados estes aglomerados. Portanto, é possível identificar uma tendência de formação de inclusões na região de contorno de grãos e fase eutética, mesmo tendo sido encontradas partículas também na solução sólida da liga. Quanto aos tamanhos dos *clusters*, verificou-se uma falta de linearidade neste aspecto, pois foram identificados diferentes tamanhos e formas.

Uma vez que foram identificados aglomerados de partículas estranhas à microestrutura esperada para a liga de ZAMAC 5, foram realizadas análises de EDS na inclusão com a finalidade de determinar de forma qualitativa os elementos presentes. Os resultados demonstraram, para a maioria dos casos, uma quantidade significativa de oxigênio e alumínio nos pontos analisados (superior a 20% em quantidade atômica para oxigênio e 40% para alumínio), conforme ponto 2 da Figura 8 e Tabela 3 mostrado como exemplo pois se repetem em todas as amostras estudadas com adição óxido de alumínio.

3.2 Medição do tamanho de grão

Os tamanhos de grão para cada um dos 3 pontos das 9 amostras foram medidos com a finalidade de averiguar e embasar os resultados observados pelas imagens obtidas

por MEV. Desta forma, a Tabela 4 fornece todos os valores médios dos grãos para cada ponto, bem como o desvio padrão das 20 medições.

Nesse sentido, estatisticamente as diferenças nos tamanhos dos grãos das amostras, para cada ponto, não é significativa. O desvio padrão calculado é muito elevado, o que corrobora com o pressuposto de que a alumina incorporada à liga não ocasionou aumento ou redução no tamanho de grão das amostras nos pontos analisados.

3.3 Ensaio de dureza

Ensaios de dureza foram realizados com o intuito de verificar a influência da concentração das partículas nas amostras de zamac 5. Na Tabela 5 são apresentados os valores de dureza medidos para as amostras fundidas. De acordo com a literatura, ASM Handbook [8], o valor de dureza típico para a liga de Zamac é de 91 HRB. Observa-se que houve um aumento nos valores de dureza de todas as amostras com adição de alumina, o que fortalece o pressuposto de que o óxido de alumínio foi incorporado a liga de Zamac.

Entretanto, o desvio padrão calculado para as amostras de 0,1% e 0,5% indica que este aumento não é

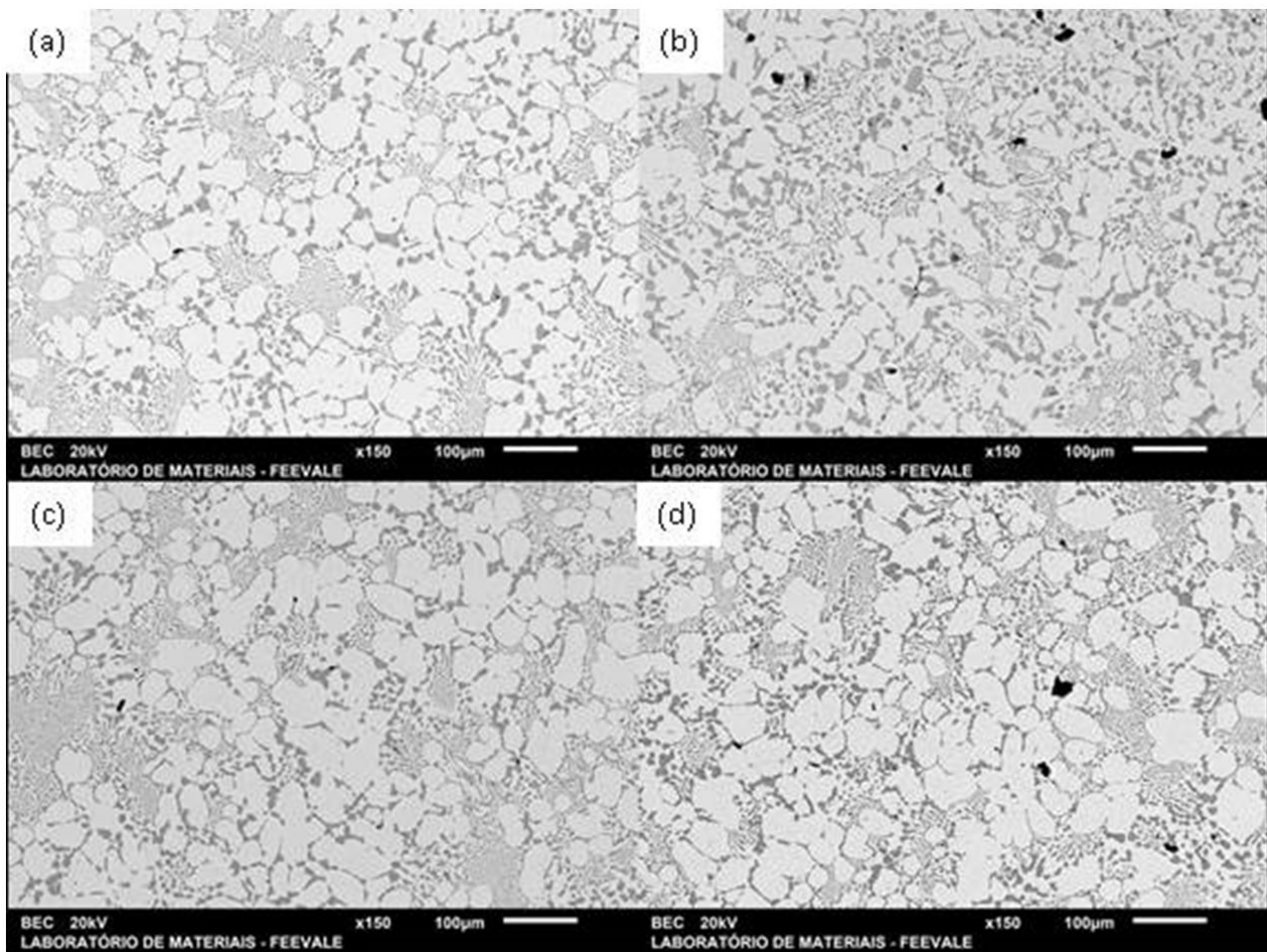


Figura 6. Micrografias obtidas ao MEV das Regiões das amostras (a) ZP, (b) ZAL-01, (c) ZAL-05 e (d) ZAL-7.

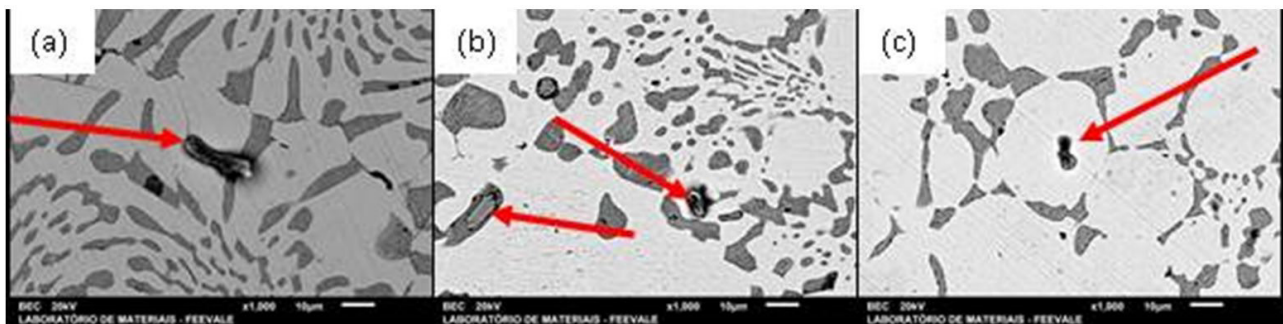


Figura 7. Aglomerados de Al_2O_3 incorporados à liga, sendo (a) ZAL-01, (b) ZAL-05 (b) e (c) ZAL-07.

significativo. Já para a liga com 7% alumina, houve um aumento de aproximadamente 4%. Esse aumento de dureza pode ser devido ao óxido incorporado agir como uma fase particulada mais dura e mais rígida do que a matriz. Essas partículas de reforço tendem a restringir o movimento da fase matriz (zamac 5) na vizinhança de cada partícula. A matriz transfere a tensão aplicada às partículas as quais suportam a fração da carga [9].

Este ganho não tão representativo se deve ao fato da incorporação de alumina não ter sido grande, mesmo sendo utilizados percentuais em massa elevados (7%). Durante a fundição observou-se empiricamente que grande parte do óxido de alumínio se concentrou na escória e não foi incorporado à liga. Conforme já foi relatado anteriormente, isto se deve principalmente pelo processo utilizado não ser adequado para a eliminação dos clusters e a obtenção de uma mistura homogênea.

Portanto, apesar dos valores observados serem baixos, pode-se dizer que há uma tendência de aumento da dureza das peças com a incorporação de Al₂O₃.

4 Conclusão

Este estudo buscou verificar se é possível incorporar óxido de alumínio à liga de Zamac por meio do processo de fundição por gravidade. As imagens obtidas por MEV demonstraram microestruturas diferentes para cada um dos pontos de análise definidos (1, 2 e 3). Entretanto, foi identificado um comportamento padrão em todas as amostras, fato que em conjunto com as medições dos tamanhos de grãos realizadas, impossibilitou avaliar a influência da adição de alumina na microestrutura do Zamac. No entanto, foram encontrados pontos de aglomerados de partículas, principalmente na região eutética da liga, os quais foram confirmados como sendo *clusters* do Al₂O₃ incorporado. Por fim, por meio dos ensaios de dureza foi possível identificar que houve um aumento de dureza para todas as amostras com adição de alumina, entretanto, para os percentuais de 0,1% e 0,5% este aumento não foi estatisticamente significativo. Já para a amostra com 7% foi verificado um acréscimo de aproximadamente 4% na dureza da liga, valor constatado abaixo do esperado de acordo com pesquisas realizadas por outros autores.

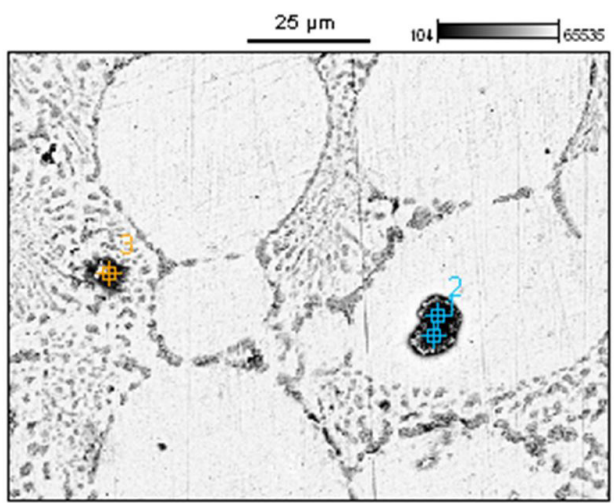


Figura 8. Análise de EDS para comprovação do óxido de alumínio da amostra de zamac 5 com incorporação de Al₂O₃.

Tabela 3. % atômico obtidos por EDS

| % atômico | O | Mg | Al | Si | Cu | Zn |
|-----------|-------|------|-------|------|------|-------|
| Ponto 1 | 16,64 | 0,00 | 57,98 | 0,20 | 0,58 | 24,59 |
| Ponto 2 | 28,97 | 0,00 | 59,72 | 0,36 | 0,25 | 10,71 |
| Ponto 3 | 12,09 | 0,26 | 13,49 | 3,49 | 3,28 | 67,38 |

Tabela 4. Tamanhos de grãos

| Amostra | Tamanho de grão (µm) | | | | | |
|----------|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Ponto 1 Média | Desvio Padrão | Ponto 2 Média | Desvio Padrão | Ponto 3 Média | Desvio Padrão |
| ZP.1 | 54,45 | 13,66 | 58,79 | 13,93 | 54,10 | 14,93 |
| ZP.2 | 65,15 | 20,00 | 70,40 | 23,82 | 68,72 | 20,07 |
| ZP.3 | 83,49 | 22,78 | 84,56 | 18,12 | 71,69 | 18,73 |
| ZAL-01.1 | 88,68 | 32,57 | 70,57 | 14,02 | 63,62 | 17,50 |
| ZAL-01.2 | 66,48 | 23,12 | 72,86 | 16,18 | 63,26 | 21,79 |
| ZAL-01.3 | 57,62 | 22,15 | 79,62 | 19,13 | 75,35 | 31,71 |
| ZAL-05.1 | 51,67 | 19,54 | 69,24 | 13,45 | 77,58 | 20,60 |
| ZAL-05.2 | 58,92 | 28,86 | 68,97 | 15,83 | 75,44 | 29,53 |
| ZAL-05.3 | 64,38 | 23,51 | 80,95 | 23,20 | 91,97 | 27,05 |
| ZAL-7.1 | 62,03 | 22,18 | 72,37 | 14,89 | 75,41 | 16,09 |
| ZAL-7.2 | 70,04 | 24,24 | 72,02 | 25,51 | 77,55 | 25,05 |
| ZAL-7.3 | 56,55 | 16,04 | 49,68 | 18,14 | 71,65 | 17,59 |

Tabela 5. Resultados dos ensaios de dureza (Rockwell B)

| Amostra | Topo | | | | Meio | | | | Base | | | | Média Amostra (HRB) | Desv. Pad (HRB +/-) |
|----------|---------|---------|---------|-----------------|---------|---------|---------|-----------------|---------|---------|---------|-----------------|---------------------|---------------------|
| | 1ª imp. | 2ª imp. | 3ª imp. | Desv. Pad (+/-) | 1ª imp. | 2ª imp. | 3ª imp. | Desv. Pad (+/-) | 1ª imp. | 2ª imp. | 3ª imp. | Desv. Pad (+/-) | | |
| ZP 1 | 92 | 91 | 92 | 0 | 93 | 94 | 93 | 0 | 92 | 95 | 95 | 1 | 93 | 1 |
| ZAL-01 1 | 96 | 98 | 93 | 2 | 92 | 96 | 95 | 2 | 96 | 100 | 100 | 2 | 96 | 3 |
| ZAL-05 1 | 95 | 97 | 97 | 1 | 98 | 101 | 101 | 1 | 92 | 97 | 98 | 3 | 97 | 3 |
| ZAL-7 1 | 96 | 97 | 96 | 0 | 96 | 100 | 98 | 2 | 97 | 98 | 97 | 0 | 97 | 1 |

Referências

- 1 Brady GS, Clauser HR, Vaccari JA. Materials handbook. 15th ed. USA: McGraw-Hill; 2004.
- 2 Lima MAM. Introdução aos materiais e processos para designers. Ciência Moderna. 2006;8:225.
- 3 Führ LT, Ludwig GA, Martins MR, Vecchia FD, Rieder E, Malfatti C, et al. Effects of mould temperature in squeeze casting of Zamak 5. Materials Science Forum. 2014;775-776:729-732.
- 4 Marcolin P, Longhi M, Zini LP, Kunst SR, Zattera AJ, Führ LT, et al. Effects of the casting temperature in the leakage of Zamak 5. Materials Science Forum. 2017;899:458-462.
- 5 ELFUSA. Ficha técnica do óxido de alumínio fundido branco. [acesso em 11 jun. 2017]. Disponível em: <http://www.elfusa.com.br/br/fichas/ceramicas/CERAMICOS - AL.pdf>
- 6 Wu Z, Sandlöbes S, Wu L, Hu W, Gottstein G, Korte-Kerzel S. Mechanical behaviour of Zn–Al–Cu–Mg alloys: Deformation mechanisms of as-cast microstructures. Materials Science and Engineering A. 2016;651:675-687.
- 7 Sajjadi S, Ezatpour HR, Parizi MT. Comparison of microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy/ Al_2O_3 composites fabricated by stir and compo-casting processes. Materials & Design. 2012;34:106-111.
- 8 ASM International. ASM Handbook: properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials. Vol. 2. Ohio: ASM International; 1990.
- 9 Callister WD Jr. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705 p.

Recebido em: 24 Set. 2019

Aceito em: 15 Maio 2020