

XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

**RELAÇÃO ENTRE COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POROSIDADE NA
VARIAÇÃO DA DUREZA E RESISTÊNCIA AO DESGASTE NAS LIGAS DE
Al-Si-Mg FUNDIDAS**

Albino Moura Guterres, Lucas Santin Bianchin, Vanessa Carina Dal Mago, Rogério Bido, Rodrigo Otavio de Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Passo Fundo

Estrada Perimetral Leste, 150 - Passo Fundo - RS - CEP: 99064-440

albino.moura@passofundo.ifsul.edu.br, lucas.sbianchin@hotmail.com, vanessadalmago@gmail.com, rogerio_bido@hotmail.com, rodrigo.oliveira@passofundo.ifsul.edu.br

RESUMO: As ligas de alumínio apresentam uma boa relação resistência / peso, no entanto, suas aplicações na indústria automobilística dependem de um profundo conhecimento de suas características mecânicas. Em relação às propriedades mecânicas, deve-se dar atenção especial a resistência ao desgaste dos componentes de veículos. Sendo assim, o objetivo dessa pesquisa é relacionar a composição química e porosidade com a variação na dureza e a resistência ao desgaste em ligas de Al-Si-Mg fundidas e tratadas termicamente. Para tanto, foram obtidas ligas do sistema Al-Si-Mg com duas composições distintas (Al-3,8%Si-0,25%Mg e Al-6,5%Si-0,6%Mg). A partir das ligas foram obtidos lingotes com e sem processo de degaseificação com pastilhas de Hexacloroetano. Os lingotes produzidos foram submetidos a tratamento térmico de endurecimento por precipitação. De todos os lingotes retirou-se amostras transversais ao longo do seu comprimento para a análise da porosidade e realização dos ensaios de dureza e desgaste. Os maiores valores de resistência ao desgaste foram obtidos nas amostras da liga Al-6,5%Si-0,6%Mg, degaseificada, devido a menor porosidade e aos maiores teores de magnésio e silício. Com o tratamento térmico, os maiores teores de Si e Mg contribuem para a formação de Mg_2Si , precipitado responsável pelo endurecimento da liga e consequentemente maior resistência ao desgaste.

Palavras-Chave: Ligas de Alumínio, Porosidade, Resistência ao Desgaste

ABSTRACT: Aluminum alloys have a good strength / weight ratio, however, their applications in the automotive industry depend on a deep knowledge of their mechanical characteristics. Regarding the mechanical properties, special attention should be paid to the wear resistance of the vehicle components. Therefore, the objective of this research is to relate the chemical composition and porosity with the variation in hardness and wear resistance in thermally treated cast Al-Si-Mg alloys. Therefore, alloys of the Al-Si-Mg system were obtained with two different compositions (Al-3,8%Si-0,25%Mg and Al-6,5%Si-0,6%Mg). From the alloys, ingots were obtained with and without degasification process with Hexachloroethane pellets. The ingots produced were subjected to precipitation hardening heat treatment. From all the ingots, transverse samples were taken along their length for porosity analysis and hardness and disintegration tests. The highest values of wear resistance were obtained in samples of Al-6,5% Si-0,6% Mg, degassed, due to the lower porosity and the higher magnesium and silicon contents. With the heat treatment, the higher Si and Mg contents contribute to the formation of Mg_2Si , the precipitate responsible for the hardening of the alloy and consequently higher wear resistance.

Keywords: Aluminum Alloys, Porosity, Wear Resistance

INTRODUÇÃO

O uso de alumínio na Indústria Automobilística cresceu continuamente nos últimos quarenta anos. Atualmente, o alumínio é o segundo material mais utilizado em veículos, atrás somente do aço. Isso deve-se ao fato de que o uso desse material proporciona aumento de desempenho, economia de combustível e redução de emissões de poluentes enquanto mantém ou melhora a segurança e a durabilidade do automóvel. Além disso, aproximadamente 90% do alumínio pode ser reciclado após a vida útil do veículo. Um dos focos da indústria na atualidade é a fundição do alumínio, que possibilita menor custo de produção e desenvolvimento de peças mais complexas, favorecendo novos conceitos e designs inovadores (Aluminum Association, 2017).

Alguns equipamentos que sofrem elevada fricção e desgaste são rotores de freio, blocos de motor e cilindros, bielas e pistões, engrenagens, válvulas, polias componentes de suspensão, dentre outros. Assim, o uso de ligas de alumínio vem progredindo nas indústrias aeroespacial e automotiva, uma vez que ligas desse tipo apresentam boas propriedades mecânicas e tribológicas (Reddy & Reddy, 2015).

A maior vantagem na utilização de peças de alumínio nos veículos é que elas são de alta resistência com baixo peso, ou seja, geram um menor gasto de combustível. Isso faz com que se aposte, na indústria automotiva, no crescimento do uso de ligas de alumínio uma vez que o objetivo geral é a redução no consumo de combustíveis (Hossain et al., 2013). Existe uma grande diversidade de ligas de alumínio utilizadas na confecção de peças, contudo suas aplicações na indústria dependem de um profundo conhecimento de suas características físicas, mecânicas e estéticas do produto.

Conforme Biswas *et al.* (2014) as ligas de Al-Si-Mg são atualmente as mais populares para obtenção de peças fundidas comerciais. Essas ligas possuem boa capacidade de serem fundidas devido ao fato do sistema de ligas alumínio-silício possuir alta fluidez conferida pela presença do eutético AlSi. A adição de magnésio torna as ligas tratáveis termicamente o que possibilita a modificação das características microestruturais e a melhora das propriedades tecnológicas das ligas Al-Si-Mg. O tratamento térmico de endurecimento por precipitação é o método mais comum para aumentar a resistência das ligas de Al-Si-Mg. Segundo Manente & Timelli (2011), o tratamento térmico compreende três fases: solubilização, resfriamento rápido e envelhecimento artificial.

Os defeitos existentes na fundição de ligas de alumínio são oriundos principalmente da presença de poros no interior das peças fundidas. A porosidade ocorre quando há a contração da liga e a precipitação de gases dissolvidos. (Gomes et al., 2010). A porosidade está aliada ao decréscimo de algumas propriedades mecânicas, como a tensão de ruptura, ductilidade e resistência à fadiga, entre outras (Puparattanapong & Limmaneevichitr, 2016).

Segundo Biswas (2014), o desgaste é a perda progressiva de uma parte da superfície operativa de um componente. Esta perda decorre do movimento relativo desta superfície em relação a outro componente. Na indústria automobilística existe uma grande preocupação com a resistência ao desgaste dos componentes de seus veículos. Isso porque esses componentes tendem a ter contato físico entre si e se movimentam um relativamente ao outro sob pequenos ou grandes esforços mecânicos. Assim, com o decorrer do tempo, tal contato conduz o sistema ao processo de desgaste de um, de outro, ou de ambos os componentes do sistema. (Gatti *et al.*, 2011)

Neste sentido, o presente estudo pretende relacionar a composição química e o percentual de porosidade com a variação na dureza e resistência ao desgaste em ligas de Al-Si-Mg fundidas e tratadas termicamente.

METODOLOGIA

A seguir serão descritos os métodos utilizados para avaliar a influência dos teores de Magnésio e Silício e dos tratamentos térmicos na resistência ao desgaste das ligas de Al-Si-Mg. A metodologia experimental envolveu as etapas de seleção da matéria prima, fundição das ligas básica, caracterização química, preparação das amostras e ensaios mecânicos.

Foram obtidas e estudadas ligas do sistema Al-Si-Mg com duas composições distintas (Al-3,8%Si-0,25%Mg e Al-6,5%Si-0,6%Mg). Os sistemas foram escolhidos devido à importância das ligas em aplicações na indústria automobilística e aeronáutica. As ligas utilizadas foram obtidas a partir de lingotes de alumínio primário, lingotes de alumínio-silício (12% de silício) e lingotes de magnésio metálico.

O alumínio primário e o alumínio-silício foram colocados em um cadinho de grafite e a fusão foi realizada em um forno tipo poço da marca Jung. Após a fusão desses elementos foi adicionado o magnésio metálico embalado em papel alumínio, com auxílio de um sino de imersão e tempo de espera de 10 minutos. A mistura foi agitada com o objetivo de facilitar a incorporação do magnésio e o silício na matriz do alumínio. A caracterização química das ligas foi feita em amostras (amostras retiradas dos lingotes em três posições diferentes) após processo de fusão, utilizando-se um espectrômetro de emissão ótica. Aplicando os processos descritos foram obtidos 5 kg de cada uma das ligas, sendo que a liga com composição de Al-3,8%Si-0,25%Mg foi denominada de liga I, e a com composição de Al-6,5%Si-0,6%Mg denominou-se de liga II.

A partir das ligas básicas foram obtidos 12 lingotes para a realização do presente estudo (seis lingotes para cada liga básica). Para o preparo dos lingotes no estado bruto de solidificação foi realizado a fusão de 800 gramas da liga básica, em um forno tipo poço com cadinho de grafite. A temperatura do metal líquido no forno foi mantida entre 700 e 730 °C, sendo que a temperatura de vazamento foi de 700°C. O metal líquido foi vertido em uma lingoteira bipartida, em aço inoxidável AISI 304, com diâmetro interno de 44 mm, altura de 180 mm e espessura de parede de 13 mm. A lingoteira foi pré-aquecida a 400 °C. A solidificação ocorreu de forma natural.

Metade dos lingotes, de ambas as ligas, foram submetidos a processo de desgaseificação. Durante a fusão, o metal líquido, foi desgaseificado com 15 gramas de pastilhas de Hexacloroetano (C₂Cl₆), com auxílio de sino de imersão e

tempo de espera de 10 minutos. Já os lingotes restantes não sofreram processo de desgaseificação. Durante a fusão, as ferramentas como sino e lanças utilizadas foram de aço inoxidável AISI 304.

A partir dos lingotes produzidos foram retiradas amostras de seção transversal circular, utilizadas para determinação das propriedades mecânicas. As amostras foram obtidas realizando cortes transversais, ao longo do comprimento dos lingotes. As amostras retiradas ao longo do lingote foram denominadas de P1, P2, P3, P4, P5 e foram obtidas a uma distância da base da lingoteira de 5mm, 20mm, 40mm, 60mm e 80mm respectivamente, conforme observa-se na Fig. (1).

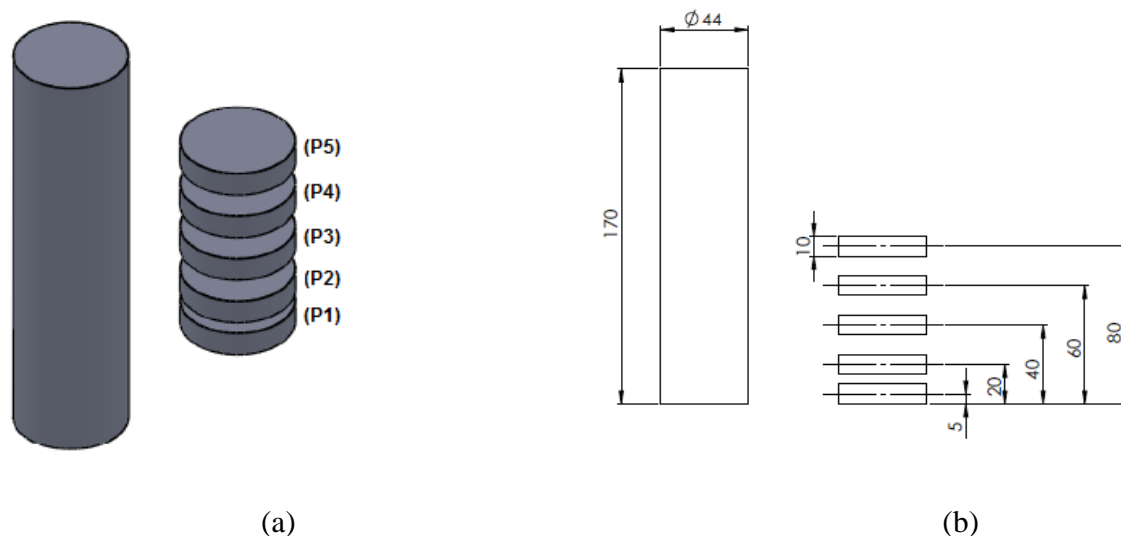


Figura 1. Disposição das amostras para realização do estudo. (a) vista tridimensional. (b) vista ortogonal com cotas em milímetros

As amostras, obtidas para as diferentes condições (sem desgaseificação e desgaseificadas) e posições em análise, referentes às ligas I e II, foram submetidas ao tratamento térmico de envelhecimento por precipitação – T6, a etapa de solubilização foi feita na temperatura de $540^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, durante 6 h, seguido de resfriamento em água morna na temperatura entre $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. O envelhecimento artificial foi realizado na temperatura de 180°C , durante o tempo de 4 horas.

Na análise da porosidade foram utilizadas todas as amostras obtidas para as diferentes condições (desgaseificadas e sem desgaseificação) e posições em análise, referentes às ligas I e II. Essa análise antecedeu os demais procedimentos, e foram realizadas, para cada liga, 3 medidas para cada condição e posição em análise, sendo que, ao final, obteve-se a média dos valores e o intervalo de dispersão.

Para medir a porosidade, usou-se a técnica denominada picnometria (Bueno & Degreve, 1980), que é um processo de comparação das massas específicas relativas do sólido e do líquido (água destilada), onde foi possível medir a massa específica aparente das amostras. O método picnométrico empregado é conforme a técnica proposta por Moutinho (2012), que baseia-se na norma ASTM B 311-93 (reaprovada em 2002). Após a determinação da massa específica aparente (ρ_A) das amostras, foi possível estimar a porosidade, utilizando a Eq. (1):

$$\% \text{ Poros} = [(\rho_T - \rho_A)/\rho_T] * 100 \quad (1)$$

onde: ρ_T : massa específica teórica das amostras.

Já, para determinar a massa específica teórica das amostras, foi utilizada a porcentagem em massa dos elementos químicos obtidos na caracterização química realizada no Espectrômetro de Emissão Óptica. Com a porcentagem em peso de cada elemento constituinte das ligas, buscou-se na bibliografia [Ashby & Jones (2005)] a massa específica de cada elemento e calculou-se as massas específicas teóricas das ligas em estudo.

De todas as amostras circulares com 44 mm de diâmetro e 10 mm de espessura, foram retirados corpos de prova para ensaio de dureza e desgaste. As amostras foram cortadas pela metade, obtendo-se duas metades com raio de 20 mm. Sendo que esses corpos de prova semicirculares foram utilizados para análise da resistência ao desgaste e medição de dureza. A Fig. (2) representa os dois corpos de prova retirados de cada amostra.

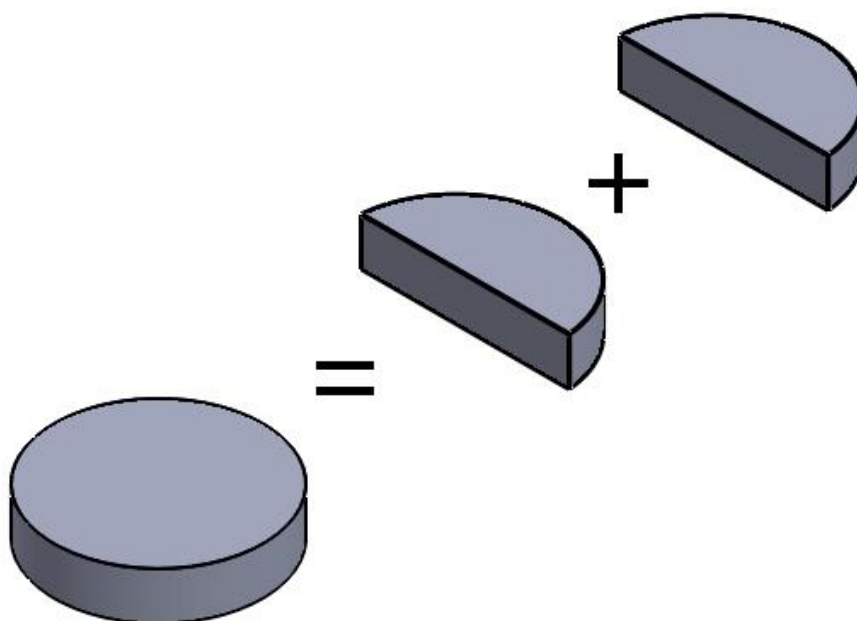
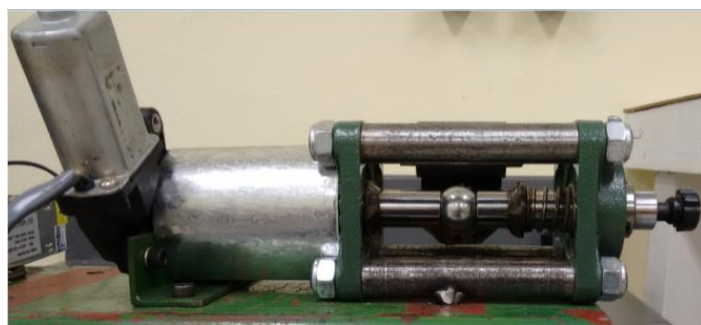


Figura 2. Posição de retirada dos corpos de prova das amostras

No total, foi possível a obtenção de 6 corpos de prova para cada condição e posição em análise, desses, 3 foram usados na realização do ensaio de dureza e os outros 3 no ensaio de desgaste. Os corpos de prova utilizados para ensaio de dureza e desgaste foram lixados com lixas d'água de granulometria #100, 220 e posteriormente, estes foram polidos com abrasivo (alumina) de granulometria 1 μm .

Para obtenção das durezas nas amostras aplicou-se as técnicas de ensaio de dureza Brinell. Para isso, utilizou-se um Durômetro Brinell, um penetrador esférico de aço de diâmetro de 5 mm, uma carga de 2500 N (250 kgf) e tempo de penetração de 20 segundos, segundo a norma ABNT NBR NM ISO 6506-1:2010.

Os ensaios de desgaste foram realizados em um aparato, desenvolvido nesta pesquisa, que promove o desgaste de micro abrasão por esfera rotativa fixa representado na Fig. (3). A análise do desgaste de micro abrasão baseou-se nos estudos de Cruz *et al.* (2010) e Feitosa (2013).



(a)



(b)

Figura 3. Equipamento utilizado na avaliação da resistência ao desgaste das ligas estudadas. (a) Estrutura física do equipamento. (b) Detalhe da amostra durante realização do experimento

Para a realização do ensaio, as amostras foram fixadas a um porta amostra, ao término de cada ensaio a amostra foi substituída e a esfera fixa foi rotacionada em, aproximadamente, 90° para evitar que o próximo ensaio fosse prejudicado pela marca na esfera do ensaio anterior. Contudo, a esfera foi usada apenas para quatro ensaios consecutivos, evitando a sobreposição da trilha de desgaste.

O volume de desgaste é calculado a partir da calota resultante do ensaio, observada na Fig. (4), na qual se verifica a região de desgaste na qual são realizadas quatro medições do diâmetro, essas medidas foram obtidas através de um

microscópio óptico, Olympus, utilizando-se do software de reprodução da imagem Micrometrics SE Premium, interconectado ao microscópio.

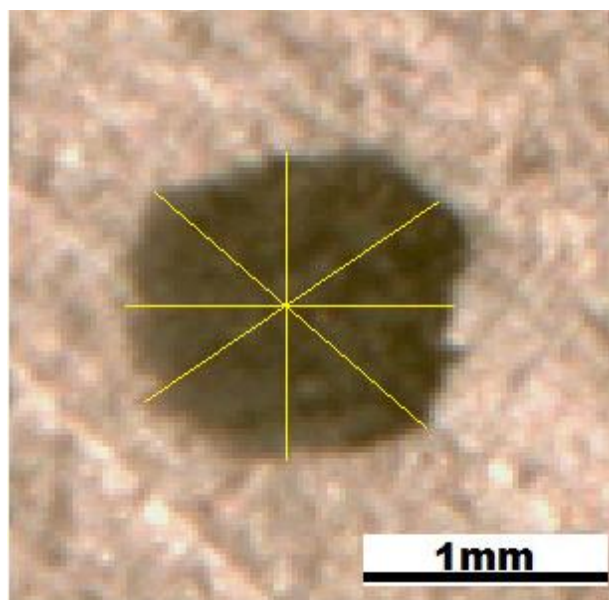


Figura 4. Calota produzida em um ensaio de desgaste de micro abrasão por esfera rotativa fixa

A partir da obtenção do valor da média do diâmetro, fez-se o cálculo do volume V de desgaste pela Eq. (2), onde d é o diâmetro da calota e R é o raio da esfera.

$$V = \frac{\pi d^4}{64R} \quad (2)$$

As esferas utilizadas nos ensaios foram de aço AISI 52100 (usadas para rolamento) com dureza de 850 HV, diâmetro 25,4 mm. A carga utilizada foi de 0,6 N, rotação de 100 r.p.m. e tempo de ensaio de 25 minutos, obtendo-se uma distância de deslizamento de 200 metros. Não foi utilizada nenhuma solução abrasiva ou lubrificante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após fusão e solidificação natural das Ligas I e II, obteve-se a caracterização química das mesmas, conforme a Tab. 1.

Tabela 1. Composição química (% em massa) das ligas I e II obtidas nesse experimento

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Outros
Liga I	95,16	3,8	0,30	0,14	0,07	0,25	0,08	0,12
Liga II	91,24	6,5	0,60	0,31	0,12	0,6	0,26	0,27

O teor de Fe obtido e se encontra acima do especificado para as ligas comerciais de Al-Si-Mg, conforme mostrado na Tab. 1. Yi *et al.* (2004) citaram que o Fe forma compostos intermetálicos, durante a solidificação, nas ligas Al-Si-Mg, os quais reduzem a resistência mecânica a tração, fadiga e ao desgaste.

A partir dos dados obtidos sobre o percentual volumétrico de porosidade, pôde-se gerar gráficos que acompanham a evolução do percentual de porosidade para a liga em função das diferentes condições e posições em análise, em ambas as ligas. Cabe salientar, que para a apresentação dos resultados dessa pesquisa, nas legendas dos gráficos, a sigla “EBS” refere-se à condição sem tratamento térmico e “desgas.” refere-se a condição com tratamento de degaseificação. A

Figura 3 apresenta uma comparação entre os resultados experimentais da quantidade (%) de poros com a posição no lingote em relação à base da lingoteira.

Na Fig. (5), observa-se que as amostras da Liga II (Al-6,5%Si-0,6%Mg) apresentam maior percentual volumétrico de porosidade do que a Liga I (Al-3,8%Si-0,25%Mg), para ambas as posições e condições em análise.

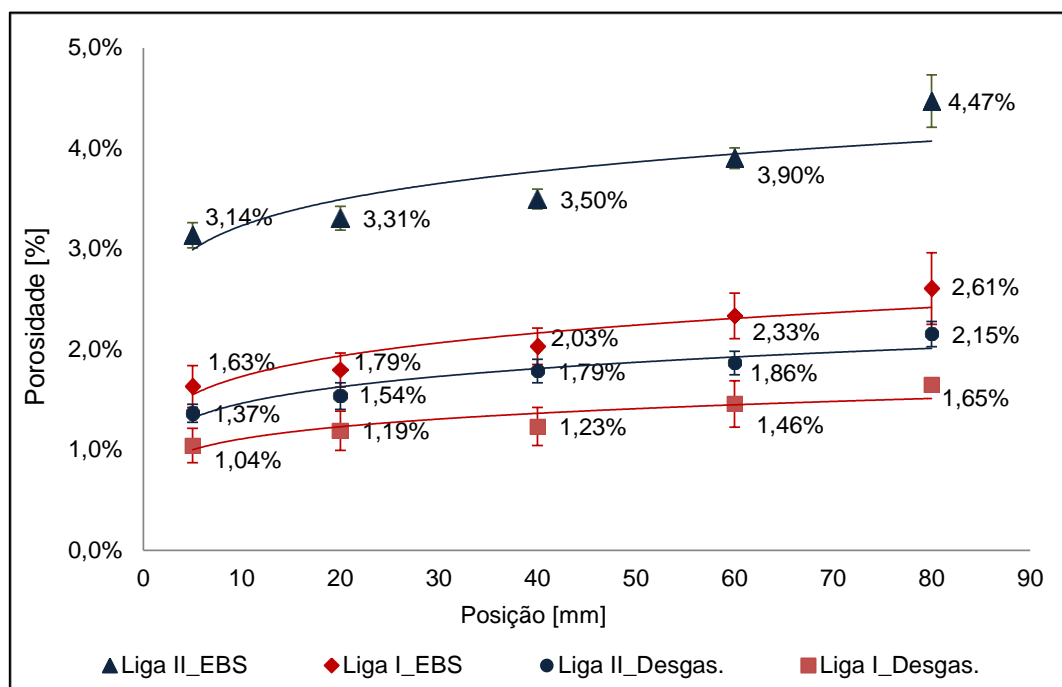


Figura 5. Quantidade (%) de poros em função da posição em relação à interface metal/molde

A diferença de composição química das ligas pode explicar a diferença do percentual volumétrico de porosidade encontrado entre as ligas no estado bruto de fusão. Conforme Moustafa (2009), a presença do ferro facilita a formação de porosidade em ligas alumínio. Sendo assim, a Liga II por apresentar aproximadamente o dobro do teor de ferro (0,6% de ferro) contribuindo para a maior formação de intermetálicos de ferro Al_5FeSi (forma de agulhas), durante a solidificação, que impedem que o metal líquido possa preencher os espaços entre as agulhas ramificadas, gerando a nucleação de poros.

A variação do percentual de porosidade em função da posição das amostras em relação à base da lingoteira, em ambas as ligas, é devido à presença do gás hidrogênio no alumínio líquido. Durante a solidificação, à medida que a viscosidade da massa líquida diminui, devido à queda de temperatura, fica mais difícil a fuga desses gases, os quais ficam retidos em maiores proporções nas proximidades da superfície dos lingotes, na forma de bolhas, resultando na presença de maior porosidade nas amostras retiradas de posições mais distantes da base da lingoteira.

As Ligas I e II, desgaseificadas com pastilha de Hexacloroetano, apresentaram reduções significativas no percentual volumétrico de porosidade comparadas com as mesmas ligas no estado bruto de fundição sem desgaseificação. Mas cabe salientar que a amostra retirada da posição 1 (5 mm da base da lingoteira), da Liga I, após processo de desgaseificação, apresenta menor percentual volumétrico de porosidade, cerca de 1,04% em volume de porosidade. Esse nível de porosidade é considerado elevado, na visão de Gomes (2012). O nível de porosidade em ligas fundidas de alumínio deve ser menor que 0,5% em volume, percentuais de porosidade mais elevados podem resultar propriedades mecânicas inferiores.

Após a realização dos ensaios dureza, obteve-se os dados de dureza das amostras circulares, das ligas I e II, referentes às condições e posições em análise, esses dados podem ser visualizados nas Fig. (6).

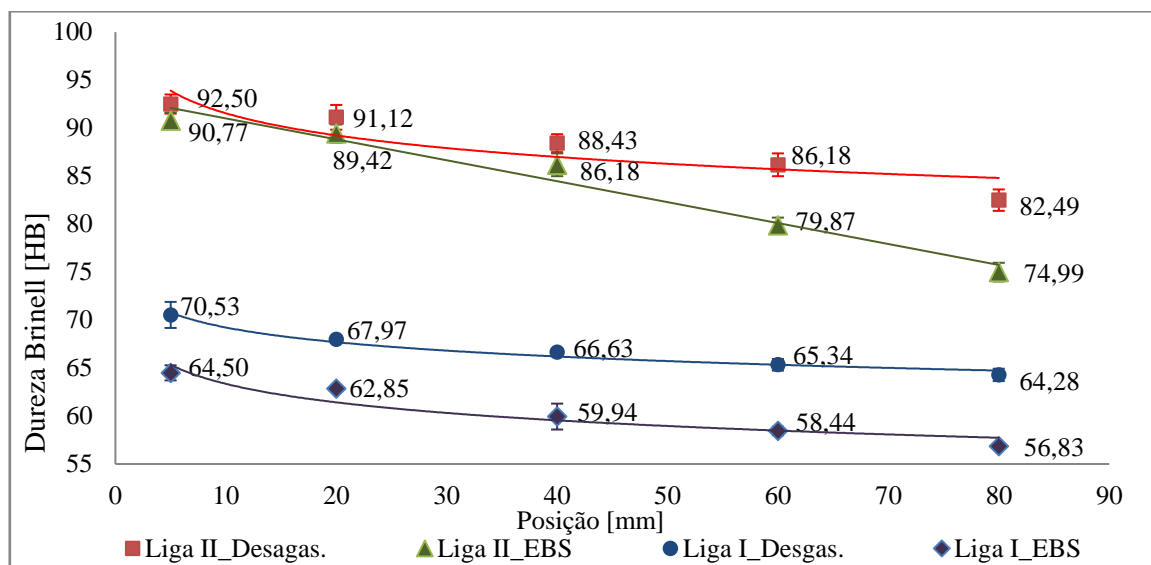


Figura 6. Dureza Brinell obtida nas diferentes posições em análise dos lingotes das ligas I (Al-3,8%Si-0,25%Mg) e II (Al-6,5%Si-0,6%Mg) na condição sem desgaseificação e também desgaseificada

Analisando a Fig. (6), observa-se que a Liga II (Al-6,5%Si-0,6%Mg) apresenta maiores valores de dureza Brinell do que a Liga I (Al-3,8%Si-0,25%Mg), nas condições sem desgaseificação e desgaseificadas. As amostras retiradas das posições mais próximas da base da lingoteira apresentaram os maiores valores de dureza Brinell, visto que, próximo à base da lingoteira apresenta-se menor percentual de porosidade, aumentando à resistência da liga a penetração e gerando maiores valores de dureza Brinell nessas posições.

Além do teor de porosidade, o teor de silício e de magnésio também influencia na diferença de dureza Brinell entre as Ligas I e II. Para Dwivedi *et al.* (2013), o aumento do teor de Si provoca um aumento na proporção das fases de silício eutético que são mais duras que as fases de Al- α , isso pode resultar no aumento de dureza. Já o Mg é o elemento necessário para precipitação da fase Mg_2Si , base do endurecimento por precipitação e responsável pelas boas propriedades mecânicas nas condições de tratamento térmico (Kaygisiz & Marasli, 2015).

Os ensaios de desgaste foram realizados no aparato que promoveu o desgaste de micro abrasão por esfera rotativa fixa nos corpos de prova retirados dos lingotes das ligas I e II, nos estados sem desgaseificação e desgaseificados. As Fig. (7) e (8) apresentam as calotas geradas após a realização do ensaio de desgaste.

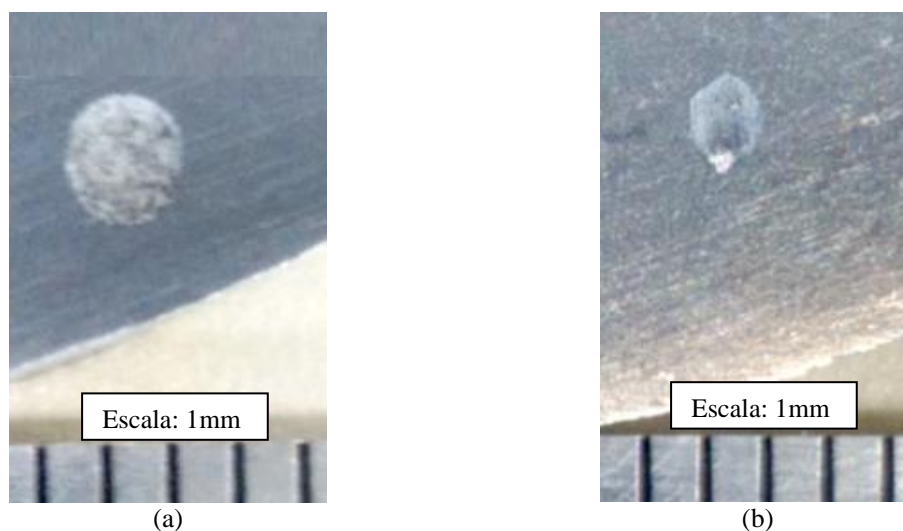


Figura 7. Calotas resultantes do ensaio de desgaste na Liga II (Al-6,5%Si-0,6%Mg).
(a) Posição 3 – Sem desgaseificação. (b) Posição 3 – Desgaseificado

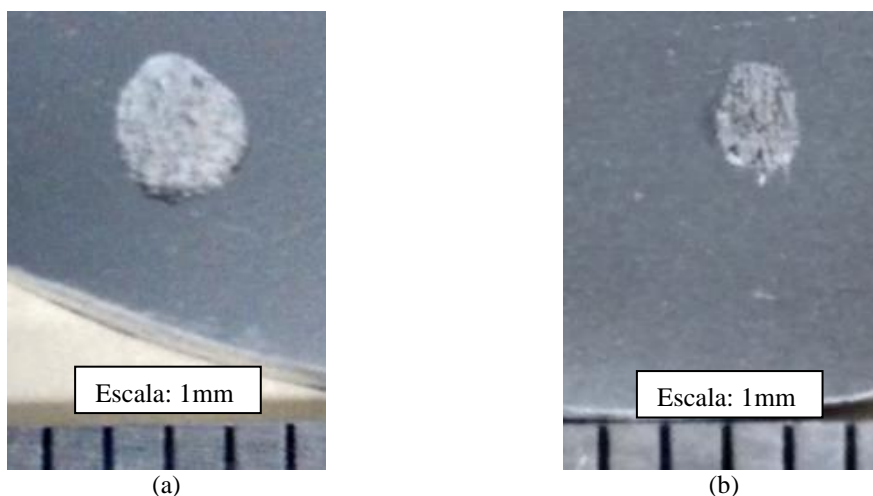


Figura 8. Calotas resultantes do ensaio de desgaste da Liga I (Al-3,5%Si-0,3%Mg).
(a) Posição 3 – Sem desgaseificação. (b) Posição 3 – Desgaseificado.

Conforme observamos nas Fig. (7) e (8), as amostras da liga I (Al-3,8%Si-0,25%Mg), com menores teores de silício e magnésio, apresentaram maiores calotas, após a realização do ensaio de desgaste. A aplicação do processo de desgaseificação colaborou para a melhora da resistência ao desgaste de ambas as ligas. Como observou-se na Fig. (6) com menor porosidade obteve-se um aumento no valor da dureza, e segundo Kaleel (2013) um aumento do valor de dureza, reduz a taxa de desgaste.

Com a realização do ensaio de desgaste, foi obtido o volume de desgaste, calculado a partir da calota resultante, para as ligas I (Al-3,8%Si-0,25%Mg) e II (Al-6,5%Si-0,6%Mg) na condição desgaseificada e sem desgaseificação, conforme Fig. (9).

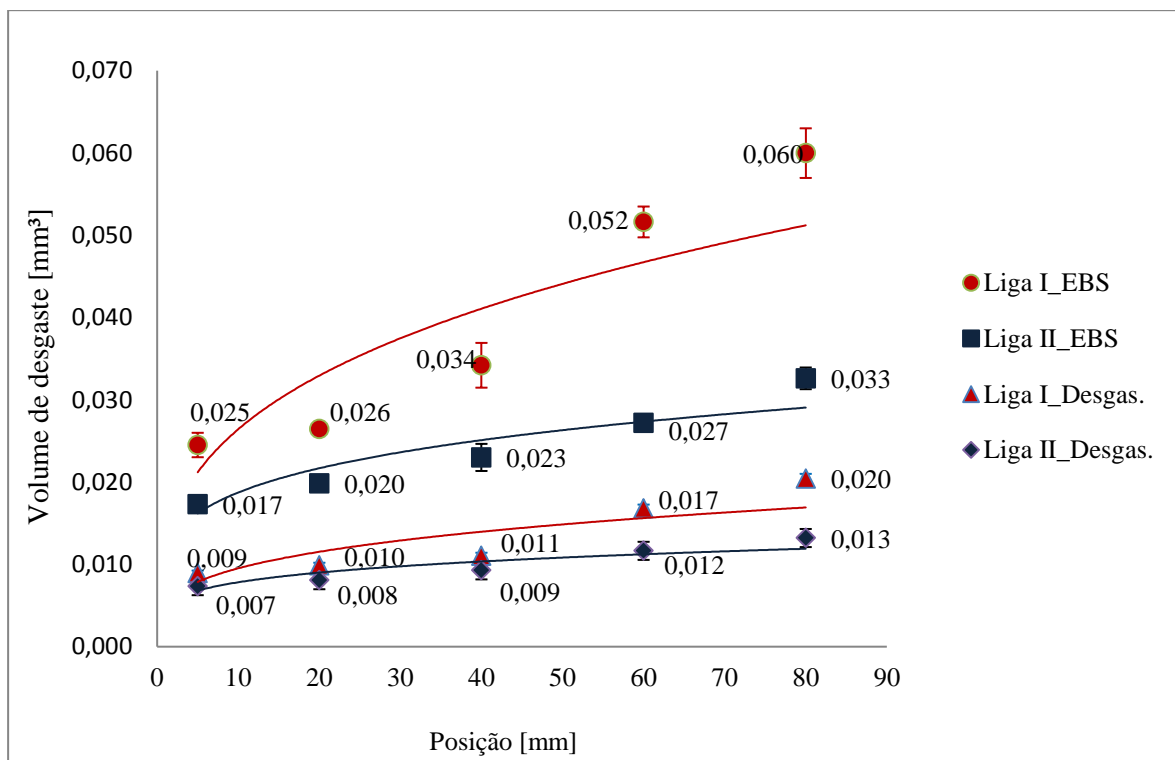


Figura 9. Volume de desgaste em função da posição para as ligas I (Al-3,8%Si-0,25%Mg) e II (Al-6,5%Si-0,6%Mg) na condição sem desgaseificação e também desgaseificada

Na Fig. (9), observa-se um menor volume de desgaste nas amostras da liga II desgaseificadas. E de maneira similar ao que observamos em relação à dureza, as amostras retiradas das posições mais próximas da base da lingoteira apresentaram as maiores resistências ao desgaste, visto que, próximo à base da lingoteira apresenta-se menor percentual de porosidade.

Mas além da porosidade, a composição química apresenta influência na resistência ao desgaste. Segundo Hekmat-Ardkan *et al.* (2010), a resistência ao desgaste da liga Al-Si-Mg aumenta com alto teor de Mg. A adição de Mg, resulta após o tratamento térmico na formação de Mg_2Si , o qual substitui o silício primário mais grosso. A melhora na resistência ao desgaste deve-se ao fato que as partículas intermetálicas de Mg_2Si são mais solidamente ligadas à matriz, quando em comparação com as partículas de silício primárias grosseiras. Hekmat-Ardkan *et al.* (2010), explicam que nas ligas de Al-Si-Mg o tratamento térmico T6 promove arredondamento das partículas de Si primário e resulta em partículas muito finas de Mg_2Si , essas mudanças são mais significativas para ligas com teores elevados de magnésio e proporcionam aumento na resistência ao desgaste.

CONCLUSÃO

Com relação a obtenção das ligas, foi possível desenvolver duas ligas com diferentes composições químicas: Liga I (Al-3,8%Si-0,25%Mg) e Liga II (Al-6,5%Si-0,6%Mg). A diferença na composição química entre as ligas permitiu a análise da influência da composição química na variação nas propriedades mecânicas nas ligas de Al-Si-Mg.

Em relação a porosidade, nos lingotes produzidos com ambas as ligas, identificou-se a presença de maior porosidade nas amostras retiradas de posições mais distantes da base da lingoteira. Já, o processo de desgaseificação reduziu em torno de 50% o percentual volumétrico de porosidade em todas as amostras.

Durante a análise das propriedades mecânicas das ligas, observou-se que as amostras referentes à Liga II (Al-6,5%Si-0,6%Mg), na condição desgaseificada, apresentaram maiores resistência ao desgaste e dureza. Sendo que, para as amostras retiradas da posição mais próxima da base da lingoteira, onde o efeito negativo da porosidade é menor, obteve-se a maior resistência ao desgaste e a maior dureza Brinell.

Nessas amostras desgaseificadas, houve tendência de aumento na resistência ao desgaste, devido ao aumento dos teores de magnésio e silício. Esse acréscimo deve-se ao fato que as ligas de Al-Si-Mg tratadas termicamente, apresentam na sua microestrutura a formação de Mg_2Si , precipitado responsável pelo endurecimento da liga e consequentemente maior resistência ao desgaste.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR NM ISO 6506-1:2010. “Materiais metálicos – Ensaio de dureza Brinell”. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Aluminum Association, 2017. “Product Markets”. 10 Ago 2017 < <http://www.aluminum.org/product-markets/>>.
- American Society for Testing and Materials, Philadelphia. ASTM Standard B311-93; “Test Method for Density Determination for Powder Metallurgy (P/M) Materials Containing Less Than Two Percent Porosity”. PA.
- Ashby, M. F. e Jones, D. R. H., 2005. “Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design”, 3a ed., Butterworth Heinemann.
- Biswas, A.; Rastogi, N.; Soni, A.; Singh, R.; 2014. “Wear Loss Analysis of 18% Silicon Based Aluminium Alloy”. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering.
- Bueno, A. W.; Degreve, L. “Manual de Laboratório de Físico-química”. McGraw-Hill, São Paulo, 1980.
- Cruz, K. S.; Meza, E. S.; Fernandes, F. A. P.; Quaresma, J. M. V.; Casteletti, L. C.; Garcia, A.; 2010. “Dendritic Arm Spacing Affecting Mechanical Properties and Wear Behavior of Al-Sn and Al-Si Alloys Directionally Solidified under Unsteady-State Conditions”. Metallurgical and Materials Transactions A. Volume 41^a, April, 2010. p. 972-984.
- Dwivedi, D. K.; Sharma, R.; Kumar, A.; 2013. “Influence of silicon content and heat treatment parameters on mechanical properties of cast Al-Si-Mg alloys”. International Journal of Cast Metals Research.
- Feitosa, E. S. F.; 2013. “Desenvolvimento de Correlações entre Microestruturas de Solidificação e Resistências ao Desgaste e à Corrosão”. Campinas, SP.
- Gatti, M. C. A.; Freitas, A. J. C.; Moreto, J. A.; Castro, D. B. V. de; Oliveira, J.; Portela, A. M. A.; Spinelli, D.; Tarpani, J. R.; 2011. “Estudo do Comportamento de Desgaste de Pares de Fricção Metal/Compósito de Grau Aeronáutico”. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas.



XXIV CREEM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



**Universidade Federal
do Rio Grande**



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

- Gomes, L.G.; Ferreira, I.L.; Moutinho, D.J.; Rocha, O.L.; Garcia A.; 2010. “Análise Experimental da Macrosegregação e Porosidade Durante a Solidificação Unidirecional Transitória de uma Liga Ternária Al-9%Si-3%Cu”. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat.
- Gomes, L. G. “Microestrutura Dendrítica, Macrosegregação e Microporosidade na Solidificação de Ligas Ternárias Al-Si-Cu”. Tese apresentada ao Curso de Doutorado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas – SP. Universidade Estadual de Campinas. Campinas/São Paulo. 2012.
- Hekmat-Ardakan, A.; Liu, X.; Ajersch, F.; Chen, X.G; 2010. “Wear behaviour of hypereutectic Al–Si–Cu–Mg casting alloys with variable Mg contents”. *Wear*, 269 (2010), pp. 684–692.
- Hossain, A.; Kurny, A. S. W., 2013 “Effect of ageing temperature on the mechanical properties of Al-6Si-0.5Mg cast alloys with Cu additions treated by T6 heat treatment”. *Universal Journal of Materials Science*, 1(1), pp. 1-5.
- Kaleel, A. J., 2013. “Study the effect of solution treatment on mechanical properties of al-7%si-0.3%mg alloy”. *Natural and Applied Sciences*. v. 4 n. 4.
- Kaygisiz, Y.; Marasli, N.; 2015. “Microstructural, mechanical and electrical characterization of directionally solidified Al–Si–Mg eutectic alloy”. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 618, p. 197-203.
- Manente, A.; Timelli, G.; 2011. “Optimizing the heat treatment process of cast aluminium alloys”. INTECH Open Access Publisher.
- Moustafa, M.A., 2009. “Effect of iron content on the formation of β -Al₅FeSi and porosity in Al–Si eutectic alloys”. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, pp. 605-610.
- Moutinho, D. J. C., 2012 “Análise da evolução microestrutural e da formação de macrosegregação e microporosidade na solidificação unidirecional transitória de ligas ternárias Al-Cu-Si”. (Tese apresentada ao Curso de Doutorado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas – SP). Universidade Estadual de Campinas. Campinas/São Paulo.
- Puparattanapong, K.; Limmaneevichitr, C., 2016 “Effect of scandium on porosity formation in Al–6Si–0.3Mg alloys”. *The Indian Institute of Metals – IIM*. pp. 1-8.
- Reddy, S. M.; Reddy, A. C.; 2015. “Effect of contact time, sliding speed and normal pressure on friction of Al-Si-Mg-Fe alloy”. *Int. J. of Engg. Sci. & Mgmt. (IJESM)*, Vol. 5, Issue 1: Jan.-Mar.
- Yi, J. Z.; Gao, Y. X.; Lee, P. D.; Lindley, T. C.; 2004. “Effect of Fe-content on fatigue crack initiation and propagation in a cast aluminum–silicon alloy (A356–T6)”. *Materials Science and Engineering: A*. Volume 386, Issues 1–2, 25 November 2004, Pages 396-407.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.