



## “Avaliação do comportamento corrosivo de ligas de alumínio usadas em rodas automotivas”

Aluno(a): Alfredo Luís Pereira Elias

Orientador(a): Giovana da Silva Padilha

Palavras chave: rodas de liga leve, ligas A356 e A413, propriedades mecânicas, perda de massa.

### Introdução:

O uso de materiais leves em veículos ajuda a diminuição do combustível e a liberação de gases causadores do efeito estufa. As escolhas de materiais mais leves e que tenham boas propriedades mecânicas são alternativas para diminuir a massa e energia necessária para a movimentação dos veículos automotores. Uma das formas de minimizar o peso dos automóveis é na manufatura de rodas de liga leve, onde ligas da série A356 e A413 (Al-Si-Mg) são as mais utilizadas com esta finalidade. Adicionar elementos de liga ao alumínio ajuda na melhora das propriedades físicas e mecânicas (Wang *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2020).

A pesquisa e desenvolvimento de ligas produzidas com materiais mais leves, nos últimos 20 anos, tornou-se um desafio na indústria automotiva, levando a substituição do aço convencional por materiais alternativos, além disso o Al diminui o peso dos componentes produzidos (Abal, 2007; Rondina *et al.*, 2018).

As ligas de alumínio da série A356 e A413 são as comumente utilizadas na fabricação de rodas pelas empresas brasileiras. O que difere entre as ligas é teor de silício – A356 (6 a 7,5% Si) e A413 (11 a 13% Si) que podem comprometer a fase de interesse – hipoeutética (<12% de Si), eutética (até 12% de Si) e hipereutética (>12% de Si).

Devido à presença de partículas intermetálicas anódicas e catódicas na composição das ligas de Al, as ligas utilizadas na indústria automotiva podem não ser suficientemente resistentes ao processo de corrosão quando expostas a meios agressivos (Gnedenkov *et al.*, 2018). Com o passar dos anos, estudos e pesquisas em relação as ligas metálicas vem crescendo com o intuito de entender o comportamento e obtenção da corrosão. O método estudado em relação a resistência a corrosão em compósitos de matriz de alumínio foi a utilização do NaCl como meio corrosivo (Abbass, Hassan e Alwan, 2015).

Desta forma, o projeto avaliou a corrosão por imersão das ligas A356 e A413 em função do tempo em solução de cloreto de sódio (NaCl) a 3,0%. A presença dos elementos de cada liga e os elementos aditivos podem influenciar o comportamento corrosivo e foi investigado neste projeto. Além disso, utilizou-se diferentes condições para que fosse possível estabelecer a diferença da parte interna e externa das rodas, fazendo a relação com a ausência e presença de luz.

### Metodologia:

Corpos de prova (CPs) retirados de rodas automotivas de liga leve de Al-Si, foram disponibilizadas por uma empresa de rodas que utilizam essas ligas no processo de manufatura. Assim sendo, lingotes das ligas A356 (Al7%Si) e A413 (Al11%Si) foram liquefeitos a ~700°C. As ligas individuais no estado líquido foram transferidas para panelas específicas na manufatura das rodas e desgaseificada com nitrogênio aplicado por uma lança rotativa de grafite. Frações de magnésio metálico, de titânio-boro-alumínio (TiBAl) e do modificador alumínio-estroncio (AlSr) foram adicionados durante a desgaseificação para refino do grão, alteração da morfologia e estrutura eutética do formato de agulha para globular, respectivamente. O material tratado foi transferido para a injetora por um tubo de grafite a baixa pressão (~0,2 bar) a 680°C. Após o preenchimento do molde, canais de refrigeração atuaram para a correta solidificação do produto.

O tratamento térmico (T6), após a etapa de inspeção, foi aplicado na própria indústria de rodas. Os tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento artificial foram realizados a 540°C (5 h) e 155°C (2 h). Após a etapa de solubilização, a roda foi resfriada por “*quenching*” a



60°C e imediatamente reaquecida para a etapa de envelhecimento. Ao final do tratamento, a roda foi arrefecida em temperatura ambiente (27±2°C). Para as medidas de corrosão, na face externa da roda foram realizados cortes para produção dos corpos de prova cilíndricos com 12,9±0,2 mm de diâmetro e com espessuras de 5,4±0,4 mm.

O meio corrosivo utilizado foi o cloreto de sódio (NaCl), onde foi diluído 30g em 1000 ml de água destilada (NaCl - 3% m/v). As análises dos CPs das rodas foram realizadas em duas condições, na presença e na ausência de luz. Para isso, foi produzido um recipiente fechado com a presença de lâmpadas frias para que durante as 3500 horas (~145 dias) de análise os CPs estivessem totalmente na presença da luz e sem aquecimento. A outra condição foi realizada na ausência total de luz, onde os CPs foram armazenados em um armário sem frestas. Sendo assim, durante toda a pesquisa os CPs estiveram em condições totalmente opostas em relação à luz.

A imersão foi monitorada por temporalidade, com eventuais espaçamentos entre o tempo. Com a retirada dos CPs do meio corrosivo, estes passaram por soluções de limpeza para remover os produtos de corrosão formados na superfície. Na primeira etapa cada CP foi totalmente submerso em mistura de ácido crômico (CrO<sub>3</sub>) e ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) durante 5 minutos. Após esta primeira etapa, foram secos com fluxo de ar natural. Em seguida, mergulhou o mesmo CP em ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) por 1 minuto, finalizando o processo de limpeza (ASTM G1, 2003; ASTM G31, 2004). Após, os CPs foram secos, pesados em balança de precisão (Shimadzu 10<sup>-4</sup> g) e medidos usando paquímetro.

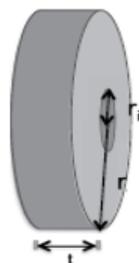
Além da análise por perda de massa, foram acompanhadas as imagens (por meio de fotos de uma câmera de celular) dos corpos de prova após as retiradas do meio corrosivo.

O cálculo da taxa de corrosão foi a partir da Equação 1.

$$CR = 8.76 (\Delta w / \rho TS) \quad \text{Eq.1}$$

Onde:  $\Delta w$  é a perda de massa,  $\rho$  é a massa específica do material, T é o tempo de imersão e A é a área da superfície, que foi calculada como mostra a Figura 1.

**Figura 1. Representação do cálculo da área para cálculo da taxa de corrosão.**



$$\text{Área total} = \left[ \frac{\pi}{2} (D)^2 - (D_i)^2 \right] + t[\pi D + \pi D_i]$$

Onde: t é a espessura, D é o diâmetro externo e D<sub>i</sub> é o diâmetro interno do material.

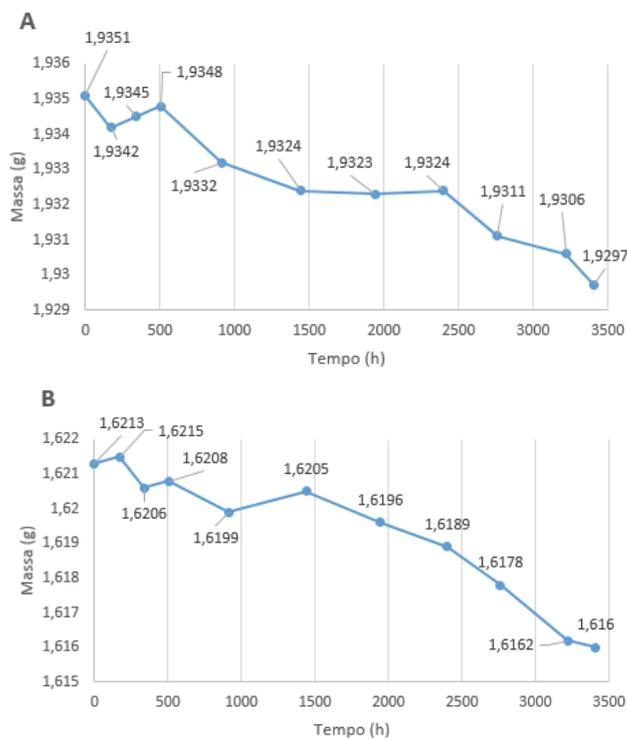
**Fonte: Autoria própria.**

### Resultados e discussões:

Os corpos de prova (Al7%Si e Al11%Si) foram analisados nas duas diferentes condições (presença e ausência de luz), obtendo-se assim as perdas de massa para as ligas de Al7%Si (Figura 2) e para as ligas de Al11%Si (Figura 3). Já as Figuras 4 e 5, apresentam as taxas de corrosão na presença e na ausência de luz, respectivamente. Por fim, a Figura 6 apresenta o acompanhamento das fotografias dos CPs. Durante cada retirada dos CPs do meio de imersão, o meio corrosivo foi analisado usando pHmetro de bancada (Tecnal –TEC 7).

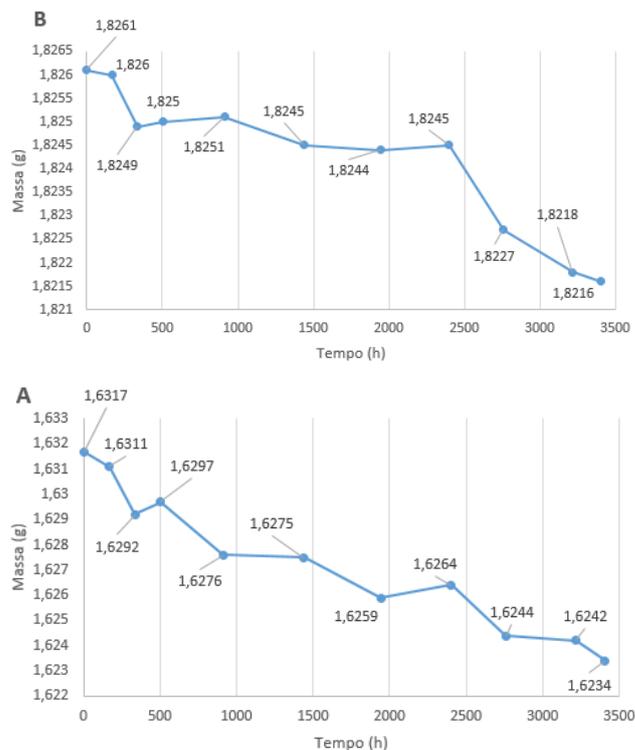


Figura 2. Perda de massa do Al7%Si: (A) presença de luz e (B) ausência de luz.



Fonte: autoria própria.

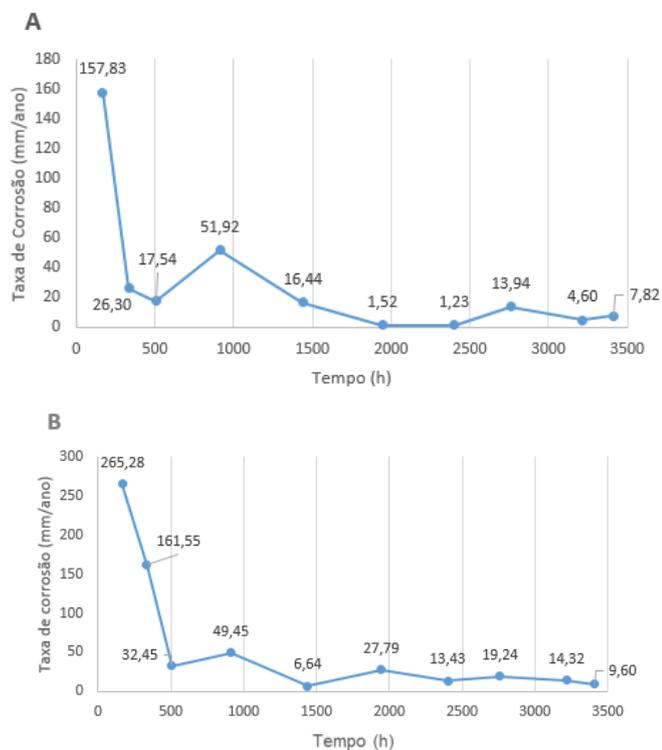
Figura 3. Perda de massa do Al11%Si: (A) presença de luz e (B) ausência de luz.



Fonte: autoria própria.

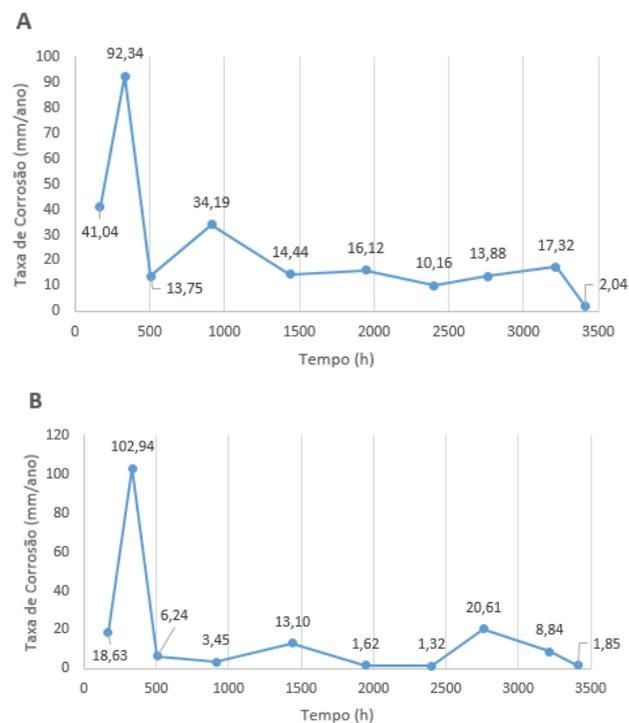


Figura 4. Taxa de corrosão na presença de luz: (A) Al7%Si e (B) Al11%Si.



Fonte: autoria própria.

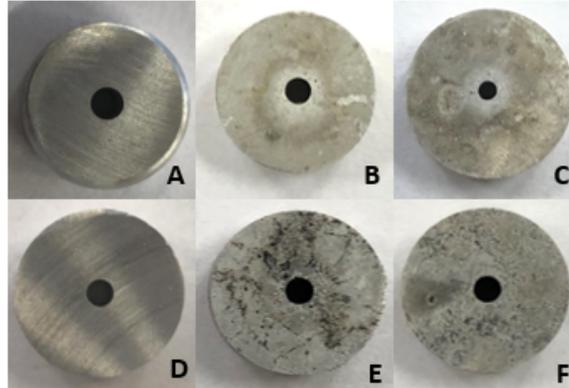
Figura 5. Taxa de corrosão na ausência de luz: (A) Al7%Si e (B) Al11%Si.



Fonte: autoria própria.



**Figura 6. Imagens dos corpos de prova: (A) Al7%Si antes da imersão, (B) Al7%Si presença de luz (2400h), (C) Al7%Si ausência de luz (2400h), (D) Al11%Si antes da imersão, (E) Al11%Si presença de luz (2400h), (F) Al11%Si ausência de luz (2400h).**



**Fonte: Autoria própria.**

### **Conclusão:**

As ligas A356 e A413 usadas em rodas automotivas foram analisadas por 3500 h. As condições na presença de luz, devido a incidência de luz solar e artificial na parte externa das rodas, e na ausência de luz, devido a não incidência de luz na parte interna das rodas foram estudadas. Os resultados obtidos mostraram que a taxa de corrosão não apresentou grandes variações, já que se trata de ligas comerciais, e ambas as ligas foram resistentes à corrosão em meio salino. Além disso, taxa de corrosão mais acentuada foi observada nos CPs na presença de luz, além de maior acidificação no meio corrosivo (pH 5 – presença de luz e pH 6 - ausência de luz), mostrando que nesta condição, a corrosão da liga foi mais acentuada. Outro ponto que foi possível observar, foi a maior taxa de corrosão nas ligas de Al11%Si, devido ao maior número de pares galvânicos, aumentando assim a corrosão. Portanto, as análises apresentaram resultados importantes, mostrando que a incidência de luz na parte externa das rodas acarreta uma corrosão mais acelerada em comparação com a parte interna, além das ligas com maior porcentagem de silício serem mais corrosivas devido à maior quantidade de silício, sugerindo então menor resistência à corrosão.

### **Referências Bibliográficas:**

- Abal. Fundamentos e aplicações do alumínio. São Paulo, 2007.
- Abbass, M.K., Hassan, K.S., Alwan, A.S. Study of corrosion resistance of aluminum alloy 6061/SiC composites in 3.5% NaCl solution. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 3(1), p. 31-33, 2015.
- ASTM International. Standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens, ASTM G1-03, 2003.
- ASTM International. Standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens, ASTM G31, 2004.
- Gnedenkov, A.D, Sinebryukhov, S.L, Mashtalyar, D.V, Vyaliy, I.G, Egorkin, V.S, Gnedenkov, S.V. Corrosion of the welded aluminium alloy in 0.5 M NaCl solution. Part 1: Specificity of development. *Materials* 11 p. 1-22, 2018.
- Rondina, F., Taddia, S., Mazzocchetti, L., Donati, L., Minak, G., Rosenberg P., Bedeschi, A., Dolcini. Development of full carbon wheels for sport cars with high-volume technology. *Composite Structures*, 192 (15), p. 368-378, 2018.
- Wang, B., Zhang, L., Su, Y., Xiao, Y., Liu, J. Corrosion behavior of 5A05 Aluminum alloy in NaCl solution. *Acta Metallurgica Sinica*, 26(5), p. 581-587, 2013.
- Wang H., Jiang B., Yi D., Wang B., Liu H., Wu C., Shen F. Microstructure, corrosion behavior and mechanical properties of a non-isothermal ageing treated cast Al-4.5Cu-3.5Zn-0.5Mg alloy. *Materials Research Express*, 7, 2020, 016547.