

AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO POR CORROSÃO DE LIGAS COMERCIAIS DE ALUMÍNIO USADAS EM TANQUES DE ESTOCAGEM E NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Palavras-Chave: [Biocombustíveis], [Ligas de alumínio], [Corrosão]

Autor:

Lucas Massabni Busnardo [FCA]

Prof.^a Dr.^a Giovana da Silva Padilha (orientadora) [FCA]

INTRODUÇÃO:

Nas últimas décadas, as indústrias convencionais e automobilística têm priorizado materiais com alta resistência mecânica e baixa massa específica. Nesse cenário, o alumínio se destaca devido à sua leveza, resistência à corrosão, boa ductilidade e potencial de reciclagem (Elias et al., 2020; Bamberg, 2021). Suas ligas, compostas por elementos como Cu, Mn, Si, Mg e Zn, oferecem propriedades ajustadas conforme a aplicação (FREITAS, 2014; Guia Técnico do Alumínio, 2011).

Na indústria automotiva, ligas como a 5052 e 7075 são amplamente utilizadas. A 5052, composta por alumínio e magnésio, apresenta boa resistência mecânica e à corrosão, sendo empregada em tanques, carrocerias e estruturas marítimas (Wayback Machine, 2014; SPIRA, 2020). Já a 7075, rica em zinco, é valorizada por sua alta resistência à fadiga, sendo comum em aplicações aeroespaciais e estruturais (YASIR et al., 2023).

Contudo, essas ligas podem ser afetadas por combustíveis, especialmente os biocombustíveis, devido à presença de água que intensifica processos oxidativos (Elias et al., 2020). O etanol, por exemplo, pode conter até 7,5% de água (EHC), sendo que valores acima disso configuram adulteração (ANP, [s.d.]; CNPE, 2022).

Este estudo investiga o comportamento corrosivo das ligas Al7075 e Al5052 em diferentes meios combustíveis, incluindo etanol convencional, adulterado por água e aduterado fora de especificação normativa comercial, diesel-biodiesel e biodiesel puro. A análise inclui perda de massa, taxa de corrosão e morfologia superficial. O trabalho se diferencia ao empregar ligas comerciais, abordando uma realidade mais próxima das aplicações industriais — especialmente relevantes no contexto brasileiro, onde a adulteração de combustíveis é uma preocupação recorrente (FURTADO, 1981).

Assim, a pesquisa contribui para ampliar o entendimento sobre a corrosão em ligas de alumínio expostas a ambientes agressivos, fornecendo dados relevantes para a engenharia de materiais e a indústria automotiva e de reservatórios para estocagem.

METODOLOGIA:

Corpos de prova foram confeccionados a partir de placas das ligas Al 5052 e Al 7075 ($20 \times 30 \times 0,63$ cm), fornecidas pela Liga Metais (Limeira/SP). As placas foram usinadas em amostras cilíndricas com diâmetro (14 mm), com furo central de (3 mm). A composição química das ligas está descrita na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química dos elementos contidos nas ligas Al 5052 e Al 7075.

Elementos	Al 5052 %	Al 7075 %
Cu	0,02	1,42
Mn	0,11	0,25
Mg	2,39	2,64
Fe	0,29	0,20
Si	0,08	0,05
Zn	0,01	5,60
Ti	0,01	0,18
Cr	0,18	0,21
Ca	0,0004	0
Pb	0,001	0
V	0,01	0
Al	96,8986	89,45

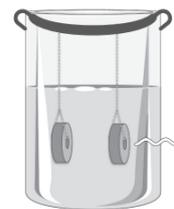
Fonte: Adaptado de informativo do fabricante (Liga Metais, 2024).

A caracterização inicial incluiu a determinação da densidade pelo princípio de Arquimedes e análises microestruturais por difração de raios X (XRD) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), realizadas na UNICAMP (FCA e FT). As amostras foram também fotografadas (4000×3000 px) para análise comparativa.

Os meios corrosivos utilizados foram: etanol 96%, etanol adulterado a 88% (com 8% de água), etanol adulterado fora de especificação normativa comercial, mistura diesel/biodiesel (1:1, v/v) e biodiesel puro (B100).

Os corpos de prova passaram por preparação metalográfica (polimento com lixas de carbeto de silício #320 a #2500), limpeza com água destilada, álcool, acetona e detergente, e posterior secagem. A massa inicial foi registrada em balança analítica (Shimadzu, 10^{-4} g), antes da imersão em 50 mL de combustível, mantidos suspensos por fio de nylon, conforme Figura 1. A imersão foi monitorada ao longo do tempo com frequência variável, e após cada etapa, as amostras passaram por processo de limpeza com soluções ácidas (ASTM, 2003) e foram novamente pesadas e medidas para cálculo da área exposta.

Figura 1: Representação esquemática do aparato de ensaio da perda de massa.



Fonte: Adaptado de ASTM, 2003.

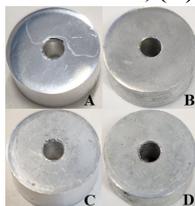
A taxa de corrosão foi determinada conforme a norma ASTM G1-72, expressa em milésimos de polegada por ano (mpa). Os ensaios também consideraram a influência da temperatura, com testes à temperatura ambiente constante de 30°C simulados através de uma estufa hermética.

A morfologia superficial pré e pós-imersão foi avaliada por MEV. Os meios corrosivos foram analisados quanto ao teor de água (método Karl Fischer) e possíveis alterações químicas por FTIR-ATR. A inspeção visual incluiu cor, presença de sedimentos e outros aspectos (ASTM, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

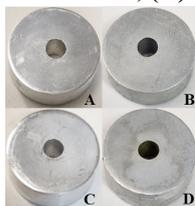
Os corpos de prova das ligas Al7075 e Al5052 foram submetidos à análise em diferentes meios corrosivos, determinando-se as respectivas perdas de massa e taxas de corrosão, assim como uma análise visual tanto do meio quanto da amostra. A Figura 2 apresenta o tempo de exposição em etanol convencional para ambas as amostras comparando o tempo inicial e final de (7504 h). A Figura 3 mostra a degradação para o etanol adulterado, enquanto a Figura 4 para o etanol adulterado fora de especificação normativa comercial, a Figura 5 expressa o B50 e a Figura 6 o B100.

Figura 2. Amostras antes e após imersão em etanol convencional (7504 h): (A) Al7075 - inicial, (B) Al7075 - final, (C) Al5052 - inicial, (D) Al5052 - final.



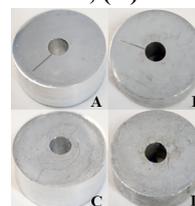
Fonte: Autoria própria.

Figura 3. Amostras antes e após imersão em etanol adulterado (7504 h): (A) Al7075 - inicial, (B) Al7075 - final, (C) Al5052 - inicial, (D) Al5052 - final.



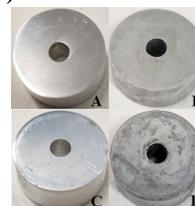
Fonte: Autoria própria.

Figura 4. Amostras antes e após imersão em etanol adulterado fora de especificação normativa comercial (7504 h): (A) Al7075 - inicial, (B) Al7075 - final, (C) Al5052 - inicial, (D) Al5052 - final.



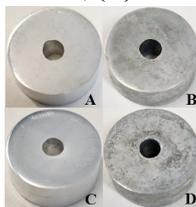
Fonte: Autoria própria.

Figura 5. Amostras antes e após imersão em diesel/biodiesel (B50) (7504 h): (A) Al7075 - inicial, (B) Al7075 - final, (C) Al5052 - inicial, (D) Al5052 - final.



Fonte: Autoria própria.

Figura 6. Amostras antes e após imersão em biodiesel (B100) (7504 h): (A) Al7075 - inicial, (B) Al7075 - final, (C) Al5052 - inicial, (D) Al5052 - final.



Fonte: Autoria própria.

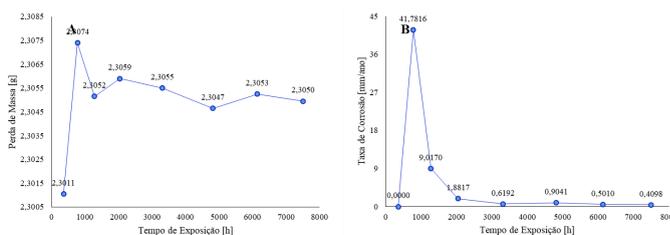
Com base nas análises comparativas, observou-se que os meios combustíveis contendo biodiesel promoveram a maior degradação superficial em ambas as ligas de alumínio, evidenciando um ambiente mais agressivo à corrosão. Em contrapartida, os meios contendo etanol apresentaram menor impacto corrosivo visível, embora ainda relevantes em alguns casos. Entre as duas ligas analisadas, a Al5052 demonstrou maior suscetibilidade à corrosão em todos os meios testados, inclusive nos contendo etanol, o que evidencia que a liga Al7075 apresenta maior resistência à corrosão, sendo tecnicamente mais eficaz sob os aspectos de estabilidade e durabilidade frente à exposição prolongada.

Ao se estabelecer uma escala qualitativa de agressividade dos meios, considerando os aspectos visuais da degradação, observou-se a seguinte ordem decrescente de agressividade: biodiesel puro (B100), seguido de B50, etanol adulterado com água acima dos limites permitidos, etanol adulterado fora das especificações normativas comerciais e, por fim, o etanol convencional, este último mostrando o comportamento mais estável e compatível com os limites estabelecidos pela legislação vigente (como a ANP).

A elevada agressividade dos meios adulterados com água pode ser atribuída à presença de umidade acima do limite tolerável, fator que favorece reações eletroquímicas de corrosão, particularmente em ligas de alumínio. Essa condição afeta não apenas a integridade estrutural das amostras, mas também promove alterações visuais significativas, como escurecimento, formação de depósitos ou opacidade superficial.

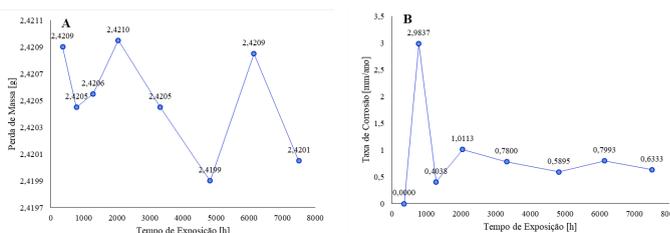
Contudo, ao se comparar a perda de massa e a taxa de corrosão com a agressão visual das superfícies, observa-se que não há uma correspondência direta entre esses dois critérios. Em algumas situações, amostras com maior ataque visual apresentaram menores variações de massa entre o tempo inicial e as 7504 horas de exposição, indicando que a corrosão pode ocorrer de forma localizada ou superficial, sem necessariamente implicar em grande perda de material, como exprime as Figuras 7 e 8 que apresenta um ganho mínimo de massa para a Al7075 e uma perda mínima para Al5052 expostos ao B100.

Figura 7: Amostra Al7075 em biodiesel (B100): (A) - Perda de massa [g], (B) - Taxa de corrosão [mm/ano].



Fonte: Autoria própria.

Figura 8: Amostra Al5052 em biodiesel (B100): (A) - Perda de massa [g], (B) - Taxa de corrosão [mm/ano].



Fonte: Autoria própria.

Logo, o comportamento observado reforça a importância de uma abordagem multidimensional na avaliação da resistência à corrosão, considerando não apenas a perda de massa, mas também a análise morfológica da superfície e possíveis alterações físico-químicas no meio agressivo. Além disso, as Figuras 7 e 8 indicam uma variação oscilatória nos valores de massa, com sucessivos ganhos e perdas, sugerindo a formação e posterior dissolução de camadas de óxidos sobre a superfície da liga. Esse processo cíclico de passivação e repassivação afeta diretamente a estabilidade da superfície exposta, influenciando tanto a taxa de corrosão quanto a confiabilidade da medida de perda de massa ao longo do tempo. Essa característica ocorre com maior intensidade nas amostras contendo biodiesel, porém com menor intensidade nos meios de etanol.

CONCLUSÕES:

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a liga Al7075 apresentou melhor desempenho frente à corrosão em comparação à liga Al5052, evidenciando maior resistência nos diferentes meios combustíveis analisados. Assim, os meios contendo biodiesel, em especial o biodiesel puro (B100), demonstraram ser os mais agressivos, enquanto o etanol convencional, dentro dos limites normativos, mostrou-se com caráter menos corrosivo. Já a presença de água acima dos limites legais estabelecidos nos meios de etanol com adulteração propulsionou com significância os processos corrosivos, confirmando sua influência negativa no comportamento das ligas. Além disso, observou-se que a agressão à superfície das amostras nem sempre está proporcionalmente atrelada à perda de massa, dessa maneira reforça a necessidade de uma abordagem multidimensional na avaliação da corrosão de cada caso, pelo fato de se existir uma oscilação na formação e dissolução das camadas de óxido da superfície da liga, caracterizando um ciclo de passivação e repassivação. Portanto, esses achados contribuem para a compreensão dos efeitos de combustíveis convencionais e adulterados sobre ligas de alumínio comerciais e destacam a importância da escolha adequada de ligas em aplicações que envolvem contato direto com esses fluidos, especialmente no setor automotivo e de transporte de combustíveis.

BIBLIOGRAFIA

- Aluminum 5052 Guide (Properties and Applications).** Disponível em: <https://www.harboraluminum.com/en/5052-aluminum>. Acesso em: 15 abr. 2024.
- ASTM International.** *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*, ASTM G1-03, 2003.
- BAMBERG, Pedro.** *A revolução industrial do alumínio no setor automotivo.* Disponível em: <https://revistaaluminio.com.br/a-revolucao-industrial-do-aluminio-no-setor-automotivo/>. Acesso em: 15 abr. 2024.
- Corrosion behavior of an Al-Si casting and a sintered Al/Si composite immersed into biodiesel and blends.** *ELIAS, A.L.P. et al.* Fuel Processing Technology, v. 202, art. 106360, 2020.
- Diário Oficial da União.** *Resolução nº 3 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE).* Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2023/ResCNPE32023.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2024.
- FREITAS, Paulo Sergio de.** *Tratamento térmico dos metais: da teoria à prática.* São Paulo: SENAI-SP Editora, 2014.
- Guia Técnico do Alumínio.** *Tratamento térmico do alumínio e suas ligas.* ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. Vol. 6. 2ª ed. São Paulo, 2011.
- MUHAMMAD YASIR KHALID; UMER, R.; KHAN, K. A.** *A review of recent trends and developments in aluminium 7075 alloys and metal matrix composites (MMCs) for aircraft applications.* Results in Engineering, v. 20, p. 101372, 2023.
- Resolução 907/2022 da ANP.** Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-907-2022-dispoe-sobre-as-especificacoes-do-etanol-combustivel-e-suas-regras-de-comercializacao-em-todo-o-territorio-nacional?origin=instituicao>. Acesso em: 18 abr. 2024.
- SPIRA, N.** *Why 5052 Aluminum Is So Popular With Our Customers.* Wayback Machine. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20140327122913/http://www.asecoltd.com/userfiles/cliparts/Aluminum%205052.pdf>.