

ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE AÇOS REVESTIDOS ZAR Z350 E ZM310 (ZN-AL-MG) PÓS-PROCESSAMENTO DE CONFORMAÇÃO E SOLDAGEM POR INDUÇÃO DE ALTA FREQUÊNCIA

Gabriel Rocha de Faria¹
Miqueias de Paula Santiago¹
Matheus Fernandes de Andrade²
Vitor Iotte Medeiros³

matheus.andrade.univertix@gmail.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Engenharias

RESUMO

A corrosão, um fenômeno eletroquímico de degradação de materiais, representa um desafio significativo para a indústria global, resultando em perdas econômicas substanciais e falhas prematuras de componentes metálicos em diversas aplicações. Para mitigar esses impactos, a utilização de revestimentos metálicos tem se consolidado como uma estratégia eficaz. Deste modo, este trabalho tem como objetivo principal realizar uma análise comparativa aprofundada da resistência à corrosão de materiais metálicos revestidos, com foco específico nos aços ZAR (Zn) 345 Z350 e ZMR 345 ZM310 (Al, Zn e Mg), considerando não apenas sua aplicação inicial, mas também o desempenho após etapas críticas de processamento, como conformação mecânica e soldagem por indução de alta frequência, que podem comprometer a integridade protetiva. A metodologia proposta para esta pesquisa envolve a condução de ensaios de corrosão em ambientes controlados, utilizando soluções ácidas e salinas que simulam as condições agressivas encontradas em cenários industriais. Embora os ensaios práticos de corrosão ácida ainda não tenham sido concluídos, a literatura existente e estudos preliminares indicam que o revestimento ternário ZM 310, devido à sua composição otimizada com alumínio e magnésio, demonstra uma capacidade superior de autocura e, conseqüentemente, uma maior durabilidade em comparação ao revestimento ZAR 345 Z350. Os resultados esperados desta pesquisa visam fornecer subsídios técnicos valiosos para a seleção de materiais em aplicações que demandam alta resistência à corrosão e durabilidade, contribuindo para o avanço das práticas de engenharia de materiais e para a redução de custos associados à manutenção e substituição de componentes.

PALAVRAS-CHAVE: corrosão; revestimentos metálicos; z350; liga Zn-Al-Mg; soldagem por indução.

1 INTRODUÇÃO

¹ Acadêmicos do curso de engenharia mecânica da Faculdade Vértix Trirriense - Univértix.

² Engenheiro Mecânico. Mestre em Engenharia Química, de Materiais e Processos Ambientais. Professor do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Vértix Trirriense - Univértix.

³ Doutor em Química (UFJF) - Professor do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Vértix Trirriense - Univértix.

A corrosão de materiais metálicos representa um dos principais desafios enfrentados por setores industriais que exigem elevada durabilidade e confiabilidade de componentes estruturais e sistemas de fixação. Nesse contexto, o uso de aços revestidos com ligas metálicas protetoras, como o zinco puro (ZAR 345 Z350) e ligas ternárias de zinco-alumínio-magnésio, tem se mostrado uma solução eficaz para mitigar os efeitos da degradação em ambientes agressivos (Costa *et al.*, 2021). Na engenharia mecânica, o controle da corrosão é especialmente relevante em aplicações que exigem alta confiabilidade e longa vida útil. A corrosão representa um desafio crítico para a metalurgia, causando perdas anuais bilionárias e influenciando desde a seleção de materiais até o desenvolvimento de novos revestimentos. Estudos como o de Brunetti *et al.* (2012) demonstram que revestimentos zincados (ex.: Zn-Al) mitigam a degradação através de proteção catódica, porém com trade-off em conformabilidade e ductilidade. Setores como automotivo e construção civil demandam soluções balanceadas, onde aços revestidos combinam resistência à corrosão e processabilidade. Avanços em ligas ternárias (Zn-Mg-Al) ampliam a durabilidade em ambientes agressivos, comprovando que a corrosão não é apenas um problema, mas um driver para inovação metalúrgica. A conformação mecânica e a soldagem por indução de alta frequência são processos industriais críticos que podem afetar significativamente a integridade da camada de revestimento, especialmente em áreas de corte e zonas termicamente afetadas (Lee *et al.*, 2019). Isso ocorre porque esses processos podem danificar a camada de revestimento, comprometendo sua eficácia anticorrosiva. Diante disso, torna-se necessário compreender não apenas o desempenho inicial desses revestimentos, mas também sua estabilidade e comportamento pós-processamento. A liga composta por zinco, alumínio e magnésio, oferece uma resistência à corrosão superior devido à sua capacidade de autocura, que permite regenerar a proteção anticorrosiva em regiões danificadas por meio da formação de óxidos protetores como $MgZn_2$ e Al_2O_3 (Rai *et al.*, 2022). Dessa forma, o presente trabalho propõe uma análise comparativa aprofundada do desempenho anticorrosivo dos revestimentos Z350 e ZM 310, com especial atenção ao seu comportamento após serem submetidos a etapas de conformação mecânica (fabricação de tubos) e soldagem. O objetivo é fornecer uma base de conhecimento sólida para a seleção de materiais que não apenas garantam uma maior vida útil e confiabilidade em ambientes industriais agressivos, mas que

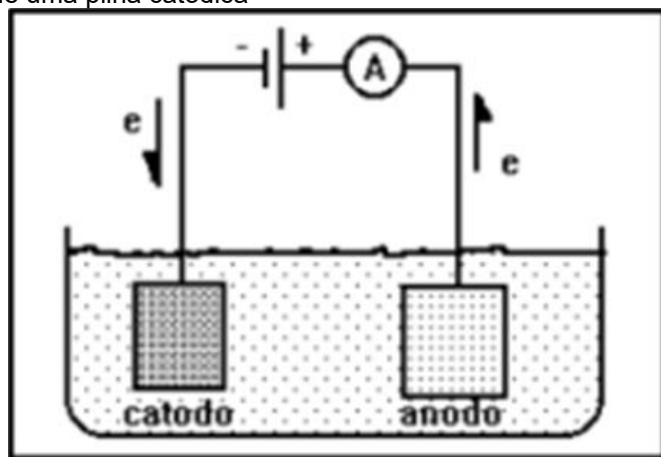
também otimizem os processos de produção e reduzam os custos de manutenção. A compreensão das vantagens e limitações de cada tipo de revestimento é fundamental para a tomada de decisões estratégicas na engenharia de materiais, visando a sustentabilidade e a eficiência em diversas indústrias, como a automotiva, a de construção civil e a naval.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Corrosão

A corrosão é considerada um dos principais fatores de degradação de componentes metálicos, sendo responsável por falhas prematuras e elevados custos industriais. Trata-se de um fenômeno eletroquímico em que o metal interage com o meio, ocasionando perda de massa, alterações microestruturais e redução da resistência mecânica (Barros, 2013). O processo ocorre por meio de reações anódicas, correspondentes à oxidação do metal, e catódicas, relacionadas à redução de agentes como oxigênio ou água (Silva, 2008) conforme Figura 1.

Figura 1 - Simulação de uma pilha catódica



Fonte: Silva (2008).

A avaliação do comportamento corrosivo geralmente envolve ensaios acelerados (como névoa salina), perda de massa e análises superficiais, permitindo determinar a durabilidade dos materiais em diferentes ambientes, como industrial, marinho ou atmosférico. A corrosão representa não apenas um desafio técnico, mas também econômico, exigindo aplicação de revestimentos protetores e técnicas de manutenção preventiva (Silva, 2008).

2.2 Revestimentos

A utilização de revestimentos metálicos é uma estratégia consolidada na engenharia de materiais para mitigar os efeitos da corrosão. O zinco, amplamente empregado em processos de galvanização, atua por mecanismo de barreira física e por proteção catódica, funcionando como ânodo de sacrifício (Marques, 2008).

A produção nacional de aços revestidos demonstra a relevância industrial desse recurso, sobretudo no setor automotivo. Avanços tecnológicos permitiram o desenvolvimento de ligas mais complexas, como Zn-Mg-Al, que apresentam melhor desempenho em ambientes agressivos devido à formação de fases intermetálicas, como o $MgZn_2$, com potencial eletroquímico mais negativo que o zinco puro (Marques, 2008).

Esses sistemas não apenas prolongam a vida útil dos materiais, mas também reduzem custos de manutenção, tornando-se indispensáveis para aplicações estruturais.

2.3 Aço Galvanizado e Galvalume

Materiais revestidos por galvanização a quente ou por ligas à base de zinco, como o Galvalume, são largamente empregados em setores industriais e da construção civil. A galvanização convencional, com zinco puro ou pequenas adições de alumínio, assegura proteção catódica eficiente. Já o Galvalume (Zn-55%Al) oferece maior durabilidade devido à barreira física mais resistente formada pelo alumínio, embora apresente menor conformabilidade em comparação ao zinco puro (Marques, 2008).

Pesquisas como a de Santos (2013) evidenciam que diferentes tipos de revestimentos apresentam comportamentos distintos: GI (Zn puro aplicado) e GA (Zn mais Fe interligados por recozimento) possuem microestruturas bandeadas, enquanto o Galvalume apresenta estrutura dendrítica, o que melhora sua resistência em ambientes agressivos. Brunetti *et al.* (2012) complementam que revestimentos influenciam diretamente a ductilidade e a conformabilidade, aspectos cruciais para aplicações que exigem resistência mecânica e durabilidade.

2.5 Revestimentos ternários

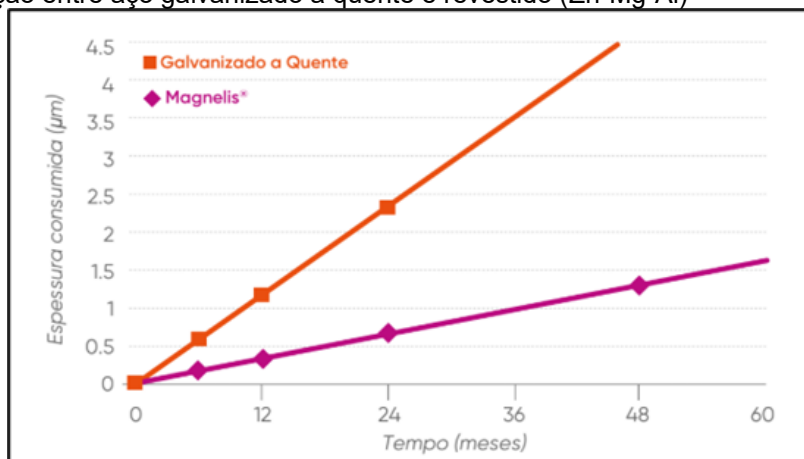
O desenvolvimento de revestimentos ternários, como o ZM310, representa um avanço frente à galvanização tradicional. A adição de magnésio aumenta o efeito de

proteção catódica, já que o Mg apresenta potencial eletroquímico mais negativo, sacrificando-se antes do zinco e do ferro. Esse comportamento, associado à formação de compostos protetores como $Mg(OH)_2$ e $MgZn_2$, garante uma barreira mais densa e eficaz contra a penetração de agentes corrosivos (Predko *et al.*, 2021; Zolin, 2011).

Além disso, o alumínio promove a formação de Al_2O_3 , que aumenta a passividade da superfície. Esse conjunto de mecanismos resulta em um fenômeno de autocura, em que regiões danificadas do revestimento conseguem regenerar sua proteção, prolongando a vida útil do material em atmosferas industriais e marinhas (Cendron, 2016).

Ensaio demonstram que esses revestimentos apresentam taxas de corrosão até três vezes menores que o zinco puro em ambientes de névoa salina, reforçando sua aplicabilidade em condições severas, conforme Figura 2.

Figura 2 - Comparação entre aço galvanizado a quente e revestido (Zn-Mg-Al)



Fonte: Gráfico - Catálogo, Fonte: Accellor Mittal (2025).

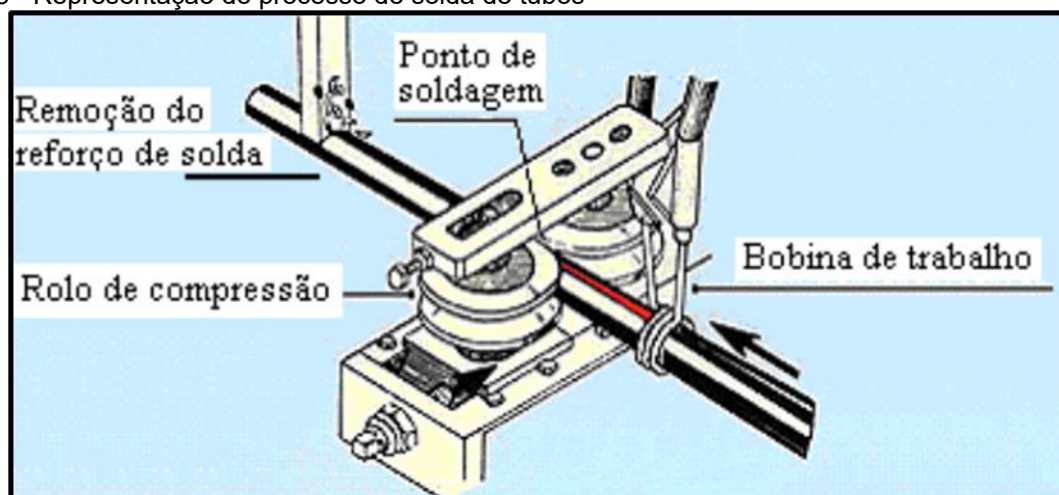
2.6 Processo de fabricação de tubos

A conformação de chapas metálicas consiste em operações como dobra, estampagem e perfilamento, que permitem a obtenção de geometrias complexas sem perda de massa. O comportamento do material durante esse processo pode ser descrito por critérios como Tresca e von Mises, sendo este último mais adequado para metais dúcteis como o aço (Popov, 1978; Altan *et al.*, 1999).

Na produção de tubos, é comum a conformação contínua por rolos, seguida da soldagem por resistência elétrica ou por indução de alta frequência, garantindo elevada produtividade e precisão dimensional (Corrêa de Almeida Filho *et al.*, 2007), conforme Figura 3. Variáveis como lubrificação, geometria das ferramentas e

composição do material influenciam diretamente a qualidade superficial e a integridade estrutural das peças conformadas.

Figura 3 - Representação do processo de solda de tubos



Fonte: Silva (1997).

2.7 Processo de solda por indução de alta frequência

A soldagem por indução de alta frequência (HFIW) é amplamente utilizada na fabricação de tubos metálicos devido à sua eficiência e qualidade de junta. O processo gera correntes elétricas de alta frequência que aquecem localmente as bordas do material, promovendo a fusão e união sem a necessidade de adição de metal externo (Silva, 1997).

Entre suas principais vantagens estão a elevada velocidade de produção, o controle preciso da zona termicamente afetada e a preservação das propriedades do material. Estudos demonstram que esse método é especialmente adequado para aços galvanizados e revestidos com ligas Zn-Mg-Al, pois mantém a integridade do revestimento mesmo após o ciclo térmico.

Assim, a soldagem HFI se consolidou como técnica essencial na indústria automotiva, de construção civil e em sistemas de dutos, unindo produtividade, confiabilidade e baixo custo (Silva, 1997, p. 13).

3 METODOLOGIA

Este estudo empregou uma abordagem experimental para investigar e comparar o desempenho anticorrosivo de revestimentos metálicos aplicados em substratos de aço-carbono. O foco principal recaiu sobre a análise de dois tipos de

revestimentos: o zinco puro (designado como Z350) e uma liga ternária de zinco-alumínio-magnésio (ZM310). A metodologia foi delineada para simular condições industriais relevantes, considerando os impactos de processos de conformação mecânica e soldagem por indução de alta frequência (HFIW) na integridade e eficácia desses revestimentos. Para isso, inicialmente foi realizada a caracterização e preparação das amostras e posteriormente ensaios de corrosão acelerada.

3.1 Preparação e caracterização das amostras

Para a execução dos ensaios, foram selecionados corpos de prova obtidos a partir de tubos conformados a partir de chapas metálicas que já possuíam os revestimentos Z350 ou ZM310. A composição dos revestimentos se encontra nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Composição química do revestimento ZM 310 em percentual de elementos

Composição química (%) - ZM 310								
C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ni	Cr
0.0750	0.0130	0.5600	0.0190	0.0075	0.0290	0.0080	0.0060	0.0240
Mo	V	Nb	N	Sn	Ti	B	Ca	
0.0010	0.0000	0.0277	0.0033	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2 - Composição química do revestimento Z 350 em percentual de elementos

Composição química (%) - Z 350								
C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ni	Cr
0.0657	0.0150	0.5600	0.0090	0.0047	0.0420	0.0080	0.0060	0.0130
Mo	V	Nb	N	Sn	Ti	B	Ca	
0.0657	0.0150	0.0295	0.0028	0.0030	0.0000	0.0002	0.0002	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em termos de composição, o revestimento Z350 é caracterizado por ser zinco puro, com uma massa total de 350 g/m², o que se traduz em uma espessura aproximada de 24,9 µm por face. Em contraste, o revestimento ZM310 é uma liga complexa, composta por 93,5% de zinco, 3,5% de alumínio e 3,0% de magnésio, com uma massa nominal de 310 g/m² (equivalente a cerca de 20,8 µm por face), conforme resumido na Tabela 3. A liga ZM310 é particularmente notável por sua resistência superior à corrosão e pela capacidade de autocura, atribuída à presença de alumínio e magnésio.

Tabela 3 - Definição mínimas de espessuras de revestimento

Espessuras mínima recomendada pela norma NBR 7008			
estimento	Massa mínima (g/m² total)	Espessura aprox. por face (µm)	Aplicável à região da solda?
Z275	275	~19 µm	Sim
Z350	350	~24,9 µm	Sim
ZM310	310	~20,8 µm	Sim

Fonte: Elaborado pelos autores

A integridade das camadas de revestimento foi verificada por meio de medições de espessura não destrutivas, utilizando um medidor que opera com base em princípios de indução magnética. As avaliações foram realizadas em duas zonas distintas: a zona de solda (onde houve raspagem e posterior reaplicação do revestimento) e regiões adjacentes, que não sofreu processamento adicional além da conformação mecânica inicial.

Para avaliação da zona de solda considerou-se duas condições de material: tubos com revestimento Z350 com cordão de solda totalmente metalizado (espessura de camada de revestimento na região da solda $\geq 24,9 \mu\text{m}$) e tubos com revestimento ZM310 com cordão de solda metalizado com baixa camada de revestimento (espessura de camada de revestimento na região da solda $< 20,8 \mu\text{m}$).

As medições das camadas de revestimento se encontram nas Tabelas 4 - 7.

Tabela 4 - Medição da camada de revestimento Z350 na área da solda (µm).

Espessuras de camada de revestimento- Solda - Z350 (em µm)				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média
Espessura encontrada	34.1	30.0	41.3	35.1

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 5 - Medição da camada de revestimento Z350 na área sem solda (µm).

Espessuras de camada de revestimento- Sem solda - Z350 (em µm)				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média
Espessura encontrada	35	27.1	24.1	28.73

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 6 - Medição da camada de revestimento ZM310 na área da solda (µm).

Espessuras de camada de revestimento- Solda - ZM310 (em µm)				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média
Espessura encontrada	6.5	6.4	5.9	6.26

Fonte: Elaborado pelos autores

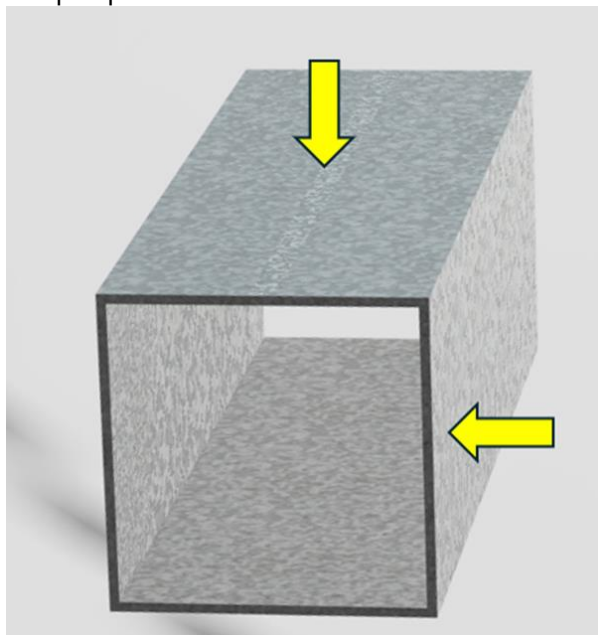
Tabela 7 - Medição da camada de revestimento ZM310 na área sem solda (μm).

Espessuras de camada de revestimento- Sem Solda - ZM310 (em μm)				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média
Espessura encontrada	25.7	32.2	29.9	29.26

Fonte: Elaborado pelos autores

A escolha das amostras foi estratégica, abrangendo diferentes seções dos tubos, incluindo áreas da região do cordão de solda e regiões laterais (sem solda), conforme apresentado na Figura 4. As amostras foram padronizadas em dimensões de 10 cm de comprimento por 2 cm de largura, garantindo uniformidade para os ensaios subsequentes. Ao total foram utilizadas 14 amostras da condição obtidos a partir de tubos metálicos com revestimento do tipo (Al, Zn e Mg) ZM 310 e Z350 (Zn).

Figura 4 - Representação em perspectiva das localidades onde foram extraídos os corpos de provas



Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a extração, as amostras foram devidamente identificadas e numeradas para facilitar o rastreamento e a análise. Em seguida foi realizada a pesagem inicial de cada corpo de prova a fim de determinar a perda de massa resultante da corrosão. Adicionalmente, um registro fotográfico detalhado foi mantido, documentando o estado das amostras antes e depois dos ensaios, o que permitiu uma análise visual das alterações superficiais. A comparação do desempenho dos revestimentos Z350 e ZM310, tanto nas zonas soldadas quanto nas conformadas, e em ambos os ambientes

de ensaio, fornecerá subsídios para validar a eficácia superior do ZM310, mesmo em cenários onde os indicadores normativos possam apresentar variações.

3.2 Ensaios de corrosão acelerada

Para a avaliação comparativa da resistência à corrosão, foram conduzidos dois tipos de ensaios de imersão acelerada, projetados para simular ambientes industriais agressivos.

- **Ensaio em Meio Ácido:**

Solução Corrosiva: Ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluído a 0,5% em volume, preparado com reagente de grau analítico e água destilada.

Condições de Exposição: As amostras foram totalmente submersas em recipientes plásticos, mantidos a uma temperatura controlada de 25 ± 2 °C, por um período de 168 horas (equivalente a 7 dias).

Parâmetro Avaliado: A perda de massa das amostras foi quantificada antes e após o ensaio, utilizando uma balança analítica com precisão de 0,001 g. Os resultados foram normalizados pela área exposta da amostra, seguindo as diretrizes da norma ASTM (2020).

- **Ensaio em Ambiente Salino:**

Solução Salina: Cloreto de sódio (NaCl) a 5% em massa, dissolvido em água destilada, conforme as práticas usuais para ensaios de corrosão acelerada.

Condições de Exposição: Similar ao ensaio ácido, as amostras foram imersas por 168 horas (7 dias) a 25 ± 2 °C em recipientes plásticos.

Parâmetro Avaliado: A perda de massa, normalizada por área exposta, foi utilizada para comparar o desempenho dos materiais frente à ação de íons cloreto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de corrosão acelerada ainda estão em andamento e serão posteriormente analisados. Espera-se, com base em estudos anteriores (Peres *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2018), que o material apresente maior resistência à corrosão devido à formação de óxidos protetores e ao fenômeno de autocura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia adotada, fundamentada em ensaios acelerados e na aplicação prática em tubos soldados por indução de alta frequência, mostra-se consistente para reproduzir, de maneira controlada, condições próximas às de uso real. Tal abordagem permitirá, a partir da análise dos resultados em desenvolvimento, compreender com maior precisão os efeitos dos processos de fabricação sobre o desempenho dos revestimentos.

De modo prospectivo, espera-se que o revestimento ternário Zn-Al-Mg configure-se como uma alternativa tecnicamente mais vantajosa em relação ao zinco puro, reunindo potencial para maior confiabilidade, aumento da vida útil e redução de custos com manutenção. Assim, este material apresenta-se como uma solução promissora, especialmente para setores estratégicos como o automotivo e o da construção civil, cabendo aos resultados em andamento validar de forma quantitativa essas expectativas.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 8094: Materiais metálicos** — Ensaios de corrosão por névoa salina. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ARCELORMITTAL. **Catálogo Magnelis completo**. 2024. 58 f. Catálogo técnico – ArcelorMittal Brasil, 2024. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/pdf/produtos-solucoes/catalogos/catalogo-magnelis-completo.pdf?asCatalogo=pdf>. Acesso em: 1 jun. 2025.

ALMEIDA FILHO, Carlos Otávio C. de; BATALHA, Gilmar Ferreira; STIPKOVIC, Marco Antonio; STIPKOVIC FILHO, Marco. *Estudo do processo de fabricação de tubos de aço com costura*. In: **CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA**, 8., 2007, Cusco. Anais [...]. Cusco: CIBIM, 2007. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53074632/15-59-libre.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2025.

ASTM. **ASTM G31-12a: Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals**. West Conshohocken: ASTM International, 2020.

BATISTA BARROS, A. **Corrosão de Materiais Metálicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

BRUNETTI, C. *et al.* Comparative study of Zn and Zn–Al coatings on steel. **Surface & Coatings Technology**, v. 206, n. 6, p. 1238–1245, 2012.

CAVALCANTE, L. **Zinco e suas aplicações industriais**. São Paulo: Blucher, 2010.

CENDRON, Suelen Weimer. **Revestimentos à base de BTSE/GPTMS como tratamento anticorrosivo para a liga de alumínio 2024-T3**. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/147232>.

GUO, Taixiong; WANG, Yuhao; YU, Liusi; JIN, Yongqing; ZENG, Bitao; DOU, Baojie; LIU, Xiaoling; LIN, Xiuzhou. Roles of Al and Mg on the Microstructure and Corrosion Resistance of Zn-Al-Mg Hot-Dipped Coated Steel. **Materials**, Basel, v. 17, n. 7, art. 1512, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/17/7/1512>. Acesso em: 1 jun. 2025.

MARQUES, Rodrigo José Alves. **Avaliação da resistência à corrosão de aços IF revestidos com zinco e ligas de zinco-ferro destinados à indústria automobilística**. 2008. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MAPO-7RCNQM>. Acesso em: 1 jun. 2025.

RAI, Prabhat Kumar; ROUT, Dinesh; KUMAR, D. Satish; SHARMA, Sanjay; BALACHANDRAN, G. Corrosion behaviour of hot-dip Zn-Al-Mg coatings with different Al content. **Anti-Corrosion Methods and Materials**, v. 69, n. 1, p. 29–37, 2022. DOI: 10.1108/ACMM-05-2021-2487. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/acmm-05-2021-2487/full/html>. Acesso em: 1 jun. 2025.

SILVA, Flávio José da. **Erosão, corrosão, erosão-corrosão e cavitação do aço ABNT 8550 nitretado a plasma**. 2008. 272 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14679>. Acesso em: 1 jun. 2025.

SILVA, João da; PEREIRA, Maria; OLIVEIRA, Carlos. Comparative analysis of corrosion resistance of Zinc and Zn-Al-Mg coatings on carbon steel. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/11973/10782>. Acesso em: 1 jun. 2025.

SILVA, Claudinei José da. **Estudo da resistência à corrosão de aços IF revestidos com zinco e ligas de zinco-ferro para aplicação automotiva**. 2024. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-08102024-135239/publico/ClaudineiJosedaSilvaDissert.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2025.

ZOLIN, A. Zinco e ligas de alumínio-magnésio: propriedades anticorrosivas. **Revista Materiais**, v. 16, n. 4, 2011.