

Corrosão & Proteção

Revista da Associação Brasileira de Corrosão • ISSN 0100-1485 • Ciência e Tecnologia em Corrosão

Ano 21 | nº 81, agosto 2025

Corrosão Interna Fundamentos, Monitoração e Controle

A **Revista Corrosão & Proteção** é uma publicação oficial da ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão, fundada em 17 de outubro de 1968.

ISSN 0100-1485

DIRETORIA EXECUTIVA ABRACO
Biênio 2025/2027

Presidente

Luiz Paulo Gomes

Vice-presidente

Carlos Alexandre Martins da Silva

Diretores

Carlos Roberto Patrício

Danilo Natalio Sanches

Emílio Duarte Lana Júnior

Juliane Carera Marin

Luiz Guilherme Araújo Prata

Conselho Editorial

Caroline Sousa – ABRACO

Laerce de Paula Nunes – IEC

REVISTA CORROÇÃO & PROTEÇÃO

Revisão Técnica

Célia Aparecida Lino dos Santos

Neusvaldo Lira de Almeida

Zehbour Panossian

Jornalista Responsável

Luis Monteiro (Mtb 17055/RJ)

Redação e Publicidade

ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão

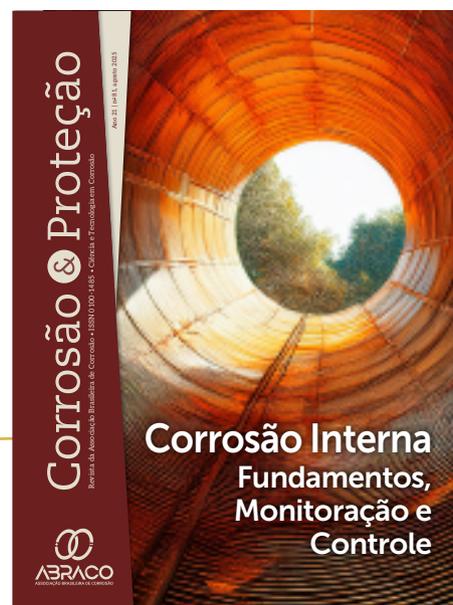
Fotografias

Arquivo ABRACO, arquivos pessoais, Can Stock Photo, Depositphotos, Dollar Photo, Fotos Públicas, Pexels, Shutterstock e Stock Unlimited.

A **Revista Corrosão & Proteção** é um veículo eletrônico concebido, desenvolvido e editado pela ABRACO. O periódico é publicado trimestralmente no site da Associação (www.abraco.org.br/revistas). A ABRACO não se responsabiliza, nem de forma individual, nem de forma solidária, pelas opiniões, ideias e conceitos emitidos nos textos, por serem de inteira responsabilidade de seus autores.

Nesta edição

- 03** Editorial
- 04** CAPA
Recomendação prática:
Corrosão Interna,
Monitoração e Controle
- 14** InterCorr 2025 reúne
especialistas na USP
e consolida seu papel
como o maior evento
técnico sobre corrosão
no Brasil
- 20** ARTIGO CIENTÍFICO
Avanços e desafios
na transição
para processos
de anodização
sustentáveis
*Wesley Felipe Capucho, Elaine
Bassanelli, Guilherme Roberto
Cristal, Gustavo Aristides Santana
Martinez, Célia Regina Tomachuk*
- 36** Notícias ABRACO
- 40** Espaço do Inspetor:
Ezio de Santana Gomes
e Jardeire Inácio do
Nascimento
- 42** Empresas associadas



Prezados leitores,

É com grande satisfação que apresento esta nova edição da Revista Corrosão e Proteção, veículo técnico-científico produzido com rigor e dedicação pela Associação Brasileira de Corrosão - ABRACO.

Nesta publicação, colocamos em destaque um dos temas mais sensíveis e desafiadores para a engenharia de integridade: a corrosão interna. Embora muitas vezes esteja oculta à inspeção visual direta, essa forma de degradação representa riscos significativos à operação segura e eficiente de ativos industriais – sobretudo em sistemas de transporte e armazenamento, como dutos, tanques e vasos de pressão.

Conscientes da importância desse fenômeno, estruturamos esta edição com foco em três eixos complementares: fundamentos, monitoração e controle. Ao reunir especialistas da área, buscamos proporcionar ao leitor uma compreensão aprofundada dos mecanismos que provocam a corrosão interna, bem como das metodologias mais atuais para sua identificação precoce e mitigação.

A evolução tecnológica tem ampliado nossas capacidades de diagnóstico e gestão da integridade. Ferramentas com sensores mais adequados, sistemas contínuos de acompanhamento, técnicas de inspeção inteligente e plataformas de análise preditiva vêm contribuindo de maneira decisiva para o avanço da monitoração, permitindo a transição de uma postura meramente corretiva para estratégias baseadas em dados e ações preventivas.

Essa transformação exige conhecimento técnico atualizado, tomada de decisão fundamentada e o fortalecimento de uma cultura de integridade. É nesse contexto que a ABRACO reafirma seu papel como promotora da qualificação profissional, da normalização técnica e da difusão de boas práticas que sustentam a confiabilidade e a segurança de ativos em setores críticos da economia.

Que esta edição sirva como fonte de reflexão, aprendizado e apoio à tomada de decisão técnica, contribuindo para o aprimoramento contínuo das soluções em corrosão e proteção anticorrosiva.

Boa leitura.

Luiz Paulo Gomes

Presidente da ABRACO



RECOMENDAÇÃO PRÁTICA: CORROSÃO INTERNA, MONITORAÇÃO E CONTROLE

1.0 INTRODUÇÃO

A RECOMENDAÇÃO PRÁTICA ABRACO sobre corrosão interna, monitoração e controle tem por objetivo apresentar as orientações básicas para monitoração da corrosão e da eficácia dos métodos de proteção anticorrosiva em sistemas com fluidos internos tais como: águas de refrigeração, águas de injeção em poços de petróleo, águas produzidas em campos de petróleo e gás, dutos de água, de petróleo e seus derivados, de álcool, de gás e outros sistemas que operem com meios corrosivos.

2.0 DOCUMENTOS NORMATIVOS DE REFERÊNCIA

NORMAS REGULADORAS

- Regulamento Técnico de Dutos Terrestres (RTDT) – ANP - Resolução ANP nº 6/2011

RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

- ABRACO

- ABRACO RP – COR - 002 R01 - Avaliação do Nível de Corrosividade Previsto para Estruturas Aéreas, Enterradas, em Contato com a Água e com Fluidos Altamente Corrosivos

NORMAS INTERNACIONAIS

- SP-0775 - Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Hydrocarbon Operations - NACE International (AMPP - Association of Material Protection and Performance).
- ASTM G1-25 - Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.

NORMA Petrobrás

- N-2785 - Norma Petrobras - Monitoração, Interpretação e Controle da Corrosão

Interna em Dutos. Disponível no endereço eletrônico <https://canalforneecedor.petrobras.com.br/regras-de-contratacao/catalogo-de-padronizacao>

3.0 RECOMENDAÇÕES PARA MONITORAÇÃO DA CORROSÃO INTERNA

Neste tópico serão apresentadas recomendações relativas às técnicas de monitoração da corrosão interna, as principais práticas de proteção e a aplicação para equipamentos e instalações mais comuns nas atividades industriais e offshore.

Para um adequado processo de monitoração da corrosão interna é conveniente um estudo preliminar da corrosividade do meio, com avaliação do risco de desenvolvimento de processos corrosivos.

Deve-se também avaliar a(s) técnica(s) de monitoração mais adequadas, bem como a definição dos locais mais propícios à monitoração.

Para definição das melhores práticas recomenda-se a observância dos seguintes aspectos:

- a) Quanto aos fluidos – atenção deve ser dispensada aos seguintes meios:
 - Águas em geral em sistemas de refrigeração, sistemas de geração de vapor, águas de injeção na produção de petróleo e gás, água produzida, dentre outros, especialmente contendo contaminantes como H_2S e CO_2 ;
 - Sistemas ácidos para todos os metais e básicos para o alumínio e demais metais anfóteros;
 - Sistemas contendo amônia, derivados de amônia ou H_2S para o cobre e suas ligas;
 - Meios muito aerados para os aços carbono e pouco aerados para os aços inoxidáveis;
 - Meios com fase aquosa, como petróleo bruto, álcool hidratado e gases úmidos;

- Sistemas de dutos contendo H_2S e/ou CO_2 ;
- Sistemas que possam gerar hidrogênio e ocasionar fragilização;
- Meios que possam desenvolver sistemas bacterianos e outros organismos vivos.

b) Quanto aos aspectos construtivos – atenção deve ser dispensada aos seguintes:

- Locais com materiais de nobreza diferente;
- Locais com acúmulo ou sedimentação de água;
- Mudanças bruscas de direção ou restrições de fluxo.

A monitoração fornecerá dados e informações sobre as taxas de corrosão e sobre a necessidade de eventuais melhorias na aplicação das práticas de proteção anticorrosivas.

Todo o trabalho deve ser realizado por profissionais com reconhecida competência na área de corrosão interna e de monitoração da corrosão.

3.1 Práticas de Proteção Anticorrosivas em Sistemas Internos

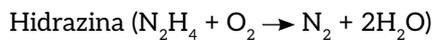
A resistência à corrosão pode ser ampliada utilizando-se os inibidores de corrosão e modificações do meio corrosivo.

Controle de Corrosão por Inibidores

Os inibidores são compostos químicos que, quando adicionados ao meio corrosivo, diminuem a sua agressividade, por um dos seguintes mecanismos:

- **Inibição anódica (inibidores anódicos):** são compostos que formam produtos insolúveis nas áreas anódicas, produzindo uma polarização anódica. Estes inibidores são também chamados de passivadores.
 - Exemplos: hidróxidos, carbonatos, fosfatos, silicatos, boratos de metais alcalinos, nitrito de sódio e cromatos de potássio e sódio.

- **Inibição catódica (inibidores catódicos):** são compostos que formam produtos insolúveis nas áreas catódicas, produzindo uma polarização catódica.
 - Exemplos: sulfatos de zinco, magnésio ou níquel.
- **Inibição por barreira (inibidores por adsorção):** são compostos que têm a propriedade de formar películas por adsorção à superfície metálica, criando uma película protetora sobre as áreas anódicas e catódicas.
 - Exemplos: sabões de metais pesados, aminas, uréia, dentre outros.
- **Sequestradores ou redutores de oxigênio:** são compostos que reagem com o oxigênio promovendo a desaeração do meio.
 - Exemplos: Sulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{SO}_3 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4$)



OBS: A desaeração pode também ser efetuada com desaeradores físicos, que são equipamentos que removem o oxigênio por ação de arraste ou descompressão. Nestes equipamentos a água é passada em contracorrente com um gás ou com vapor e estes fluidos removem o oxigênio dissolvido na água ou ainda a água pode ser tratada em vasos com pressão inferior à atmosférica, o que permite a separação do oxigênio.

As principais aplicações dos inibidores são:

- Destilação de petróleo;
- Tratamento de água (caldeira, refrigeração e de injeção)
- Limpeza química e decapagem ácida;
- Sistemas de oleodutos e gasodutos;
- Testes hidrostáticos;
- Sistemas de embalagem e proteção temporária durante transporte e estocagem;
- Áreas de perfuração e produção (fluidos e acidificação).

Os critérios básicos para seleção de inibidores são:

- Deve ser compatível com o processo e com outros aditivos eventualmente presentes;
- Deve ser solúvel e estável (incluindo temperatura e pressão);
- Não deve formar resíduos ou espuma;
- Não deve ser poluente e tóxico;
- Custo baixo, inclusive de despejo.

Controle de Corrosão por Modificação do Meio Corrosivo

São métodos de aumento da resistência à corrosão, muito utilizados em sistemas de água de refrigeração, água de caldeira, água injeção em poços de petróleo, em fluidos diversos como os de perfuração de poços de petróleo e os de completação.

● **Desaeração**

A desaeração consiste na retirada de oxigênio do meio, sendo o oxigênio um agente despolarizante; com a sua retirada favorece-se a polarização catódica com a consequentes diminuições da intensidade do processo corrosivo.

Os processos de retirada de oxigênio podem ser, como foi dito, químicos ou mecânicos. O processo químico é realizado pelos sequestradores ou redutores de oxigênio, enquanto a retirada do processo mecânico é feita em desaeração por arraste do oxigênio por outro gás, comumente vapor, ou em câmaras de vácuo onde a descompressão propicia a saída de gases.

● **Controle de pH**

O controle de pH visa favorecer a passivação dos metais, que se tornam passivos com o pH ligeiramente básico.

Cuidados especiais devem-se ser observados nos metais anfóteros que perdem a resistência à corrosão em meios básicos e

com a precipitação de compostos de cálcio e magnésio que se tornam insolúveis em pH elevado, podendo trazer problemas de incrustação.

- **Controle de Temperatura e Velocidade**

O controle de temperatura e velocidade de fluidos visa favorecer a polarização anódica e catódica, com a consequente diminuição da intensidade do processo corrosivo. A velocidade tem uma forte ação despolarizante enquanto a temperatura contribui, ainda com o aumento com a velocidade das reações nos meios líquidos.

As dosagens de inibidores e de modificadores de meio corrosivo devem ser ajustadas com base na experiência dos profissionais que aplicam e dos fornecedores e, se possível, validadas em ambiente de teste.

A eficiência dos inibidores de corrosão e das práticas de modificação dos meios corrosivos é normalmente avaliada a partir dos processos de monitoração ou eventualmente através dos ensaios de corrosão, comparando as taxas de corrosão observadas na monitoração com as taxas antes da aplicação das práticas de proteção anticorrosivas.

Obs. Em águas de circulação (refrigeração, caldeiras, injeção e outras situações que trabalhem com águas com teores altos de cálcio e magnésio) é conveniente avaliar o risco de incrustação pelo índice de Langelier.

3.2 Técnicas de Monitoração da Corrosão Interna

Existem várias técnicas utilizadas para monitoração da corrosão interna. Nesta Recomendação Prática trataremos das mais comumente empregadas.

Cupons de Perda de Massa

Os cupons são altamente usados pela indústria de óleo e gás e mineração para ter acesso de

maneira bastante simples às taxas de corrosão em tubulações e equipamentos fabricados em aço carbono. É uma técnica relativamente barata e permite coletar dados por longos períodos. Permite também obter informações a respeito da morfologia do processo corrosivo e natureza dos depósitos.

Um cupom (amostra do metal do equipamento ou uma liga padronizada) é pesado e introduzido no processo. Após um intervalo de tempo razoável o cupom é retirado do processo, limpo de todo o produto de corrosão e novamente pesado. A perda de massa é convertida a uma perda de espessura total, ou taxa de corrosão uniforme.

Para obter a taxa de corrosão com cupons de massa deve-se determinar a variação (perda) de massa do cupom corrigida da perda na limpeza química e dividir pelo produto da densidade do metal, pela área total exposta (incluindo as bordas) e tempo de exposição. Para que se faça a correção devido a perda de massa gerada pela decapagem, utiliza-se um cupom prova ou referência que é submetido ao mesmo processo de limpeza química utilizada no cupom exposto. As áreas cobertas pelo suporte do cupom e isolamento devem ser excluídas. Podem ser usadas para calcular a taxa de corrosão as fórmulas da Norma AMPP/NACE SP-0775.

Os cupons podem ser do tipo circular (*flush*), que ficam posicionados tangencialmente ao fluxo do fluido, indicados para dutos pigáveis ou do tipo haste (retangular), que fica transversal ao fluxo.

O tempo de exposição deve ser definido em função do grau de corrosividade do meio. O tempo médio mínimo pode variar de 3 a 6 meses de exposição.

O preparo da superfície, limpeza, depende do tipo de material. As normas ASTM G1-25 ou AMPP/NACE SP-0775 especificam os procedimentos que deverão ser adotados.

A pesagem do corpo de prova deverá ser realizada em balanças de precisão de 0,001 gramas devidamente calibradas em laboratórios acreditados na Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou em laboratórios de calibração que utilizem os padrões rastreáveis à RBC. Neste caso, os certificados dos padrões rastreáveis devem ser arquivados juntamente com o certificado de calibração.

Vantagens da Técnica:

- Apresenta no período de exposição a forma de corrosão (uniforme ou localizada);
- Mede a perda de espessura real no período de exposição;
- Permite a caracterização do resíduo formado sobre o cupom;
- Permite a verificação de camada protetora sobre o cupom (filme ou óxido).

Limitações da Técnica:

- Tempo de exposição longo;
- A taxa de corrosão calculada é um valor médio para o período exposto;
- Para sistemas com diferentes fluidos ou com variação de parâmetros operacionais a taxa de corrosão calculada não dá o indicativo da situação mais agressiva;
- Os dados de corrosão são históricos e fornecem informações de desempenho do passado e geralmente não podem fornecer dados de curtos períodos de tempo ou dar respostas rápidas.
- É um sistema intrusivo.

Sondas de Resistência Elétrica

A técnica de resistência elétrica é uma das técnicas mais empregadas para medir de taxas de corrosão depois dos cupons de perda de massa. É muito empregada em meios onde não existe a presença de uma fase aquosa contínua como, por exemplo, em oleodutos e gasodutos.

Algumas aplicações típicas são:

- Oleodutos, gasodutos e minerodutos;
- Unidades de processamento de petróleo e petroquímica;
- Sistemas de água.

As sondas podem ser consideradas como sondas de perdas de massa automáticas, fornecendo dados de perda de metal continuamente.

O monitoramento contínuo da corrosão com sondas de resistência elétrica fornece a tendência da taxa de corrosão em função do tempo, permitindo identificar com clareza os períodos de aumento ou redução da corrosividade do meio associado às variáveis do processo (vazão, temperatura, pressão, aumento da concentração de agentes corrosivos etc.).

Não podem mostrar mudanças de corrosividade nos fluidos ou taxas de corrosão em intervalos de tempo muito pequenos. A quantidade de leituras diárias (aquisição de dados) normalmente pode ser ajustada, variando em função da taxa de corrosão esperada e outras características do processo. Notar que uma quantidade maior de leituras por dia pode consumir mais energia (relevante se o sistema for alimentado por bateria) e armazenamento (no caso de utilização de estações de armazenamento de dados - data logger), o que irá requerer um maior número de visitas aos pontos de monitoramento para troca de bateria, coleta de dados e limpeza da memória dos registradores.

A técnica de resistência elétrica é o método por meio do qual a medição da taxa de corrosão é realizada a partir da variação da área, provocada pela corrosão, da seção transversal do elemento sensor exposto ao meio e que ocasiona variação na resistência elétrica deste sensor.

O desgaste da área exposta reduz a seção transversal do sensor; logo a perda de seção faz com que a resistência elétrica do metal

varie, aumentando em função da redução da área. Este método está fundamentado na equação a seguir:

$$R = p \cdot \frac{l}{A}$$

Onde:

R = resistência (ohm);

l = comprimento (cm);

A = área seção transversal (cm²);

P = resistividade do material (ohm. cm).

Neste método, o provador é colocado no meio corrosivo e a evolução da corrosão é realizada por um circuito baseado na Ponte de Kelvin. O elemento resistor é o sensor, que tem a variação da resistência medida contra um resistor referente que também está imerso no meio corrosivo, no entanto, encapsulado. O fato de o elemento de referência estar à mesma temperatura do elemento sensor elimina o efeito de variação de temperatura.

As variações da resistência elétrica são, então, medidas cumulativamente ao longo do tempo, tendo-se como base a medida de resistência inicial do sensor.

Na prática, os equipamentos empregados fazem a conversão automática da resistência, em perda de seção do elemento sensor e esta medida se baseia em corrosão uniforme.

O método de resistência elétrica pode ser usado em qualquer tipo de meio para determinação da taxa de corrosão uniforme, porém seus resultados só são significativos para a média da perda de massa do sensor, não sendo possível a leitura da taxa de corrosão instantânea.

O método é susceptível à influência de fontes de ruído térmico e elétrico, tais como fontes de alimentação, motores elétricos e transmissões de rádio.

A aquisição de dados pode ser realizada nas seguintes formas:

- Coleta manual no local;
- Os dados coletados podem ser armazenados em uma estação coletora de dados (*logger*) para posterior resgate das informações;
- Transmissão imediata em tempo real (*on line*), via satélite, rádio ou outra forma.

Vantagens da Técnica:

- Pode ser utilizada em qualquer meio;
- Calcula taxa de corrosão em pequeno espaço de tempo e os dados podem ser transferidos em tempo real (*on line*);
- Técnica sensível a mudanças operacionais e regimes de fluxos, desde que não ocorram em muito curto espaço de tempo;
- Através do perfil da taxa e perda de metal podemos atuar nas variáveis de processo para minimizar a corrosão;
- Taxa de corrosão pode ser calculada em períodos de tempo desejado.

Limitações da Técnica:

- Método pouco sensível à corrosão localizada;
- Material de fabricação do sensor é limitado a uma pequena gama de materiais;
- Vida útil do sensor dependente da sensibilidade dele (quanto mais sensível o sensor, menor sua vida útil);
- Quando utilizada em meios onde possa ocorrer a formação de depósitos condutores (como os de sulfeto de ferro) distorce-se os resultados. Como a técnica mede a perda de espessura do material, a deposição de camadas condutoras ou semicondutoras e o recobrimento do sensor alteram a leitura de resistência e, conseqüentemente, a medida de perda de massa;

- O uso de provadores em meios ácidos contendo H_2S não é muito recomendado devido à possibilidade de depósitos condutores de sulfeto de ferro.
- É um sistema intrusivo.

Sondas de Resistência de Polarização Linear

Esta técnica é de tempo real e o seu princípio fundamental é a aplicação de uma pequena voltagem (ou polarização) a um eletrodo imerso em um eletrólito.

A corrente necessária para manter um deslocamento específico do potencial de repouso (potencial de corrosão), por exemplo, 10mV, está diretamente relacionada à corrosão na superfície do eletrodo imerso no eletrólito.

Desse modo, medindo-se esta corrente determina-se a velocidade de corrosão que esteja ocorrendo na superfície do eletrodo.

A técnica de resistência à polarização linear é particularmente útil em sistemas aquosos, uma vez que a presença de eletrólitos é fundamental. Este método permite identificar um descontrole no processo corrosivo, possibilitando ações imediatas no sentido de controlá-lo. Possibilitando um monitoramento contínuo (*on line*) do processo.

Algumas aplicações típicas são:

- Sistemas de água de resfriamento;
- Sistemas de recuperação secundária na produção de petróleo;
- Sistemas de tratamento e distribuição de água potável;
- Sistemas de tratamento de efluentes e esgotos.

Os instrumentos disponíveis comercialmente usam medidas de resistência de polarização linear para obter a resistência de polarização e determinar a densidade de corrente de corrosão.

O método de Resistência de Polarização Linear é aplicável para obtenção de taxas de corrosão

uniformes e é particularmente útil para acompanhamento de inibidores e métodos de modificação de meios corrosivos.

As sondas corrossimétricas de polarização linear são disponíveis em dois ou três eletrodos.

Vantagens da Técnica:

- O método de Resistência de Polarização Linear é uma técnica prática que pode ser usada com vantagens no laboratório e no campo;
- Permite rapidez na determinação da taxa de corrosão e a sensibilidade para detectar pequenas variações no meio corrosivo, tais como mudança de pH, variação na concentração de inibidores etc.
- Exposição do corpo-de-prova a uma pequena variação de potencial, não havendo alteração substancial de sua superfície, permitindo que a corrosão seja avaliada de forma contínua por período longo.

Desvantagens da Técnica:

- Emprega trazer sondas no equipamento

Permeadores ou provadores de hidrogênio

São sondas que utilizam da pressão parcial exercida pelo hidrogênio gerado e acumulado em uma falha para avaliar a fragilização pelo hidrogênio.

A corrosão do aço em ambientes ácidos, não aerados produz hidrogênio atômico. O hidrogênio atômico gerado em áreas catódicas do metal corroído normalmente se recombina para formar hidrogênio molecular.

Determinados íons tais como: os íons sulfeto, cianeto ou antimônio, retardam a formação do hidrogênio molecular e uma porção do hidrogênio gerado na superfície é introduzida no metal.

O hidrogênio, na forma atômica, apresenta dimensões tão reduzidas que facilmente penetra e se difunde na estrutura cristalina dos metais. A sua presença na rede cristalina vai traduzir-se numa degradação das propriedades

mecânicas e metalúrgicas do metal, tal fenômeno é denominado fragilização pelo Hidrogênio.

O hidrogênio é um intermediário da reação de redução do H^+ que acompanha um processo de corrosão:



O ácido sulfídrico (H_2S) é especialmente perigoso, pois não só fornece o íon sulfeto, como também fornece o H^+ . O hidrogênio pode também penetrar no metal a partir de atmosferas ricas em hidrogênio, por exemplo, durante tratamentos térmicos ou soldagens.

Quando o hidrogênio atômico se acumula em certas zonas do metal (normalmente correspondente a heterogeneidades), a sua concentração pode ser suficiente para se combinar em hidrogênio molecular (gasoso) que se acumula em bolsas.

Criam-se então falhas internas que afetam a continuidade do metal e atuam como criadoras e acumuladoras de tensões internas. Também no caso de metais contendo uma fase não-metálica dispersa, a presença do hidrogênio pode conduzir à formação de produtos gasosos que se acumulam em bolsas. Nestes casos fala-se de fragilização irreversível, porque não pode ser posteriormente eliminada.

O ensaio de permeação de hidrogênio tem grande importância em atividades de avaliação e seleção de materiais para uso em presença de H_2S . São utilizados também em sistemas de monitoramento de corrosão nos quais se busca avaliar em tempo real a quantidade de hidrogênio que permeia através das paredes de tanques, vasos de pressão ou dutos.

Vantagens da Técnica:

- Técnicas que não necessita introduzir sensores no equipamento, o sensor é colocado na parede do equipamento.
- Técnica que permite verificar e quantificar os fenômenos de fragilização pelo hidrogênio;

- Pode ser utilizada em qualquer tipo de fluido.

Desvantagens da Técnica:

- Específica somente para monitoramento da permeação de hidrogênio, portanto não avalia taxa de corrosão.

Correntes Galvânicas

As sondas galvânicas são constituídas de dois eletrodos de materiais dissimilares expostos ao fluxo do processo. Quando imersos em soluções, existe uma diferença de potencial natural entre o par de eletrodos.

A corrente gerada devido a esta diferença de potencial está relacionada à taxa de corrosão que está ocorrendo no eletrodo mais ativo (anodo).

Normalmente, dois eletrodos tipo pino, um dos quais é o aço carbono e o outro latão, são usados.

A técnica de correntes galvânicas tem sido amplamente aplicada em sistemas de injeção de água onde a concentração de oxigênio dissolvido é uma preocupação fundamental. A entrada de oxigênio em tais sistemas aumenta consideravelmente as correntes galvânicas devido ao seu efeito nas reações catódicas e consequentemente produz um aumento da taxa de corrosão.

Esta técnica não permite a medição da corrosão, mas serve como uma indicação da presença de espécies oxidantes no sistema. Sondas corrosimétricas galvânicas têm mostrado uma resposta muito boa à presença de oxigênio dissolvido no sistema e, relativamente a isto, é uma ferramenta valiosa para detectar a entrada de oxigênio. Estas sondas são especialmente úteis quando investigando, otimizando ou auxiliando na detecção de problemas em sistemas de injeção de água do mar como também no monitoramento de sistemas de alta pressão.

As sondas corrosimétricas galvânicas podem também monitorar a atividade de bactérias causadoras de despolarização catódica.

Vantagens da Técnica:

- Aparato instrumental simples;
- Serve como um bom indicador da presença de espécies oxidantes no sistema, por exemplo, oxigênio dissolvido.

Desvantagens da Técnica:

- Somente aplicada em meios condutores de eletricidade (eletrólitos);
- Necessita introduzir sondas no equipamento;
- Não funciona bem em meios com sulfeto. H_2S polariza anodicamente o sensor de latão;
- Formação de depósitos torna a resposta muito lenta;
- Não indica a taxa de corrosão. Mostra apenas a presença de compostos oxidantes.

Ferramentas Instrumentadas para Inspeção Interna de Dutos e Fundo de Tanques Apoiados no Solo

São equipamentos que utilizam o princípio de medição da variação do fluxo magnético ou permeação de ultrassom em um material metálico.

Os *pigs* instrumentados (*ILIT - In Line Inspection Tool*) são ferramentas que se deslocam impulsionadas por um fluido ao longo de um duto e determina perdas de espessura, moissas e ovalização do tubo. É um recurso essencial na verificação se as práticas de proteção estão dando resultados satisfatórios.

As ferramentas para avaliação de integridade de fundo de tanques (*TBIT - Tanque Bottom Inspection Tool*) deslocam-se em todo o fundo e determina perdas em função de corrosão, principalmente na face externa não acessível. É igualmente um recurso essencial na

verificação se as práticas de proteção estão dando bons adequados.

3.3 Avaliação da Taxa de Corrosão

Com o uso das técnicas de monitoração, especialmente por cupom de perda de massa, sonda de resistência elétrica e *pigs* instrumentados (no caso de dutos) recomenda-se que o usuário estabeleça critérios com os níveis de taxas de corrosão adequados às suas necessidades, de acordo com a tabela 01.

Tab. 01 - Classificação das Taxas de Corrosão

Taxa Média de Corrosão Uniforme		Taxa Máxima de Pites
Classificação	mm/ano	mm/ano
Baixa	≤ 0,05	≤ 0,13
Moderada	0,05 a 0,20	0,13 a 0,30
Alta	> 0,20	> 0,30

(Extraído da Recomendação Prática SP - 0775 - 2023).

3.4 Monitoração e Controle da Corrosão Interna em Tanques de Armazenamento Terrestres, Tanques de Lastro de Navios, de FPSO e Tanques de Água Produzida

O controle da corrosão interna de tanques terrestres de armazenamento de petróleo, de água, sistemas marítimos de lastro, de cargas de petróleo em navios e em FPSO (Unidades flutuantes de Produção e Estocagem de Petróleo) deve ser realizado por inspeções visuais e fotográficas quando das paradas para inspeção, em geral a cada dez anos nos terrestres e cinco anos nos marítimos.

Nestas inspeções deve-se avaliar o revestimento interno e o sistema de proteção catódica galvânica, preparando-o para mais uma campanha.

4.0 CONCLUSÕES

Com o conhecimento que se tem na atualidade é possível manter os ativos de qualquer empresa totalmente livres de processos corrosivos internos, para isto as empresas devem investir na capacitação de seus colaboradores para que possam definir as estratégias mais adequadas aos objetivos da instituição.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Nunes, Laerce P. - Fundamentos de Resistência à Corrosão - Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2ª edição 2025.

Gentil, Vicente - Corrosão, 7ªed. LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora, 2022.

Fragata, Fernando L. - Pintura Anticorrosiva: Falhas e Alterações nos Revestimentos, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2016

Nunes, Laerce P. - Materiais - Aplicações de Engenharia - Seleção e Integridade - Editora Interciência, Rio de Janeiro

Nunes, Laerce P. e Lobo, Alfredo O. - Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva Interciência, Rio de Janeiro, 5ª Edição.

DUTRA, A. C. & NUNES, L. P. - Proteção Catódica - Técnica de Combate à Corrosão 5ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011.

IEC - Sistemas de Proteção Catódica, 2ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência - 2020

Evento reúne especialistas na USP e consolida seu papel como o maior evento técnico sobre corrosão no Brasil

A edição de julho do InterCorr 2025 foi realizada no Centro de Difusão Internacional (CDI) da Universidade de São Paulo (USP). O evento reforçou seu papel como o mais importante encontro técnico e acadêmico sobre corrosão do país. Organizado pela Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), o congresso reuniu profissionais, pesquisadores, empresas e instituições para debater avanços científicos, novas tecnologias e práticas inovadoras de prevenção e de controle da corrosão.

Durante os dias de evento, a programação contemplou conferências plenárias, palestras técnicas, mesas-redondas, apresentações de trabalhos e exposições. Foram sete conferências plenárias, cinco palestras técnicas, duas mesas-redondas e três apresentações de patrocinadores, além do tradicional Concurso de Fotografia, que contou com 44 imagens inscritas e mais de 600 votos do público.

As conferências plenárias tiveram papel de destaque, reunindo nomes de referência nacional e internacional. Entre elas, chamaram a atenção as participações estrangeiras que trouxeram temas de grande impacto e relevância global para a comunidade da corrosão:

- Emma Angelini (Itália) - Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia, Politecnico di Torino
Tema: The challenge of preserving metallic Cultural Heritage: the Corrosion Science contribution
- V.S. Raja (Índia) - Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai
Tema: Perspectives in the Development of Oxidation Resistant Alloys for Advanced Ultra Super Critical Thermal Power Plants

Essas contribuições internacionais reforçam a missão do InterCorr como um espaço de







intercâmbio de conhecimento que ultrapassa fronteiras, conectando o Brasil ao cenário global da pesquisa em corrosão.

O InterCorr também manteve sua vocação para a difusão científica com 195 artigos técnicos apresentados, sendo 120 na modalidade oral e 75 em pôster. No total, o evento reuniu mais de 600 participantes, contou com 2 apoios governamentais, 10 patrocinadores, 2 ações de merchandising e 23 instituições parceiras, além de 24 empresas expositoras que enriqueceram o ambiente de trocas e networking.

O InterCorr é um espaço único de integração entre indústria, academia e entidades de pesquisa, promovendo a apresentação de novas ideias e fortalecendo parcerias. A ABRACO agradece a todos os apoiadores, patrocinadores, expositores, palestrantes e participantes que tornaram o evento possível. Além de debates e troca de conhecimento, o evento celebra a excelência na área da corrosão e proteção anticorrosiva por meio de premiações

especiais que reconhecem o talento e a dedicação de profissionais e pesquisadores.

A ABRACO parabeniza a todos os autores e coautores desta edição, reforçando a importância de iniciativas que unem ciência, técnica e arte para ampliar a conscientização sobre a corrosão.

Com mais uma edição de sucesso, o InterCorr reafirma sua relevância como fórum de referência para o setor e fortalece a missão da ABRACO de difundir conhecimento e promover a qualificação técnica de profissionais que atuam na prevenção e no controle da corrosão.

As fotos oficiais e vídeos do InterCorr 2025 já estão disponíveis no site do evento.

Agradecemos a todas as empresas, palestrantes, conferencistas, patrocinadores, apoiadores institucionais e profissionais envolvidos na organização. Cada contribuição foi essencial para o sucesso do evento. Esperamos por vocês em 2027, em local que será anunciado em breve!

Premiações

Prêmio Professor Vicente Gentil

O Prêmio **Professor Vicente Gentil** é uma homenagem aos profissionais, pesquisadores e estudantes que se destacam na área de corrosão e proteção anticorrosiva. No InterCorr, o reconhecimento é concedido ao melhor trabalho oral apresentado, selecionado a partir de uma avaliação criteriosa tanto do artigo submetido quanto da apresentação realizada durante o congresso. Instituído em referência ao renomado professor Vicente Gentil, que contribuiu para a difusão do conhecimento técnico e científico sobre corrosão no Brasil, o prêmio valoriza trabalhos inovadores, pesquisas relevantes e iniciativas que promovam o avanço do setor.

Trabalho premiado: Anticorrosive Behavior of Automotive Coolants Measured by Potentiodynamic Polarization Technique and Electrochemical Impedance Spectroscopy

Apresentador: Marcelo Rosa Dumont – CEFET MG

Prêmio de Excelência

O Prêmio de Excelência reconhece o melhor pôster apresentado no InterCorr. A seleção é feita por uma comissão avaliadora, que analisa criteriosamente tanto o trabalho escrito quanto a apresentação realizada durante o congresso.

Trabalho premiado: The effect of low CO₂ partial pressures on the development of corrosion products in a simulated confined space

Apresentador: Tiago Falcade – UFRGS

Concurso de fotografia

O 22º Concurso de Fotografia de Corrosão e Degradação de Materiais encantou os participantes, sensibilizando o público para os impactos da corrosão por meio de um olhar artístico e técnico.

As imagens inscritas capturaram, de forma criativa, fenômenos e situações reais do desgaste de materiais.

A votação ocorreu durante o congresso e as três fotos mais votadas foram premiadas.



23

Naufração - Maria Bianca Guidesman

Destroços do petroleiro Maria Bianca Guidesman, naufragado em Klein Curaçao em dezembro de 1987.

PRIMEIRO LUGAR



43

Corrosão sobre rodas

Uma kombi toda corroída. A miniatura apresenta sinais avançados de corrosão, intensificados pela exposição ao ambiente costeiro do canal de Barra da Tijuca. Esta degradação confere à peça um aspecto de relíquia!

SEGUNDO LUGAR



44

A textura do tempo

Corrosão atmosférica extremamente avançada em guarda corpo de estrutura próxima ao mar. Presença de íons cloreto, ciclos térmicos, exposição solar e umidade contribuem para oxidação do aço carbono.

TERCEIRO LUGAR

AVANÇOS E DESAFIOS NA TRANSIÇÃO PARA PROCESSOS DE ANODIZAÇÃO SUSTENTÁVEIS

Wesley Felipe Capucho, Elaine Bassanelli, Guilherme Roberto Cristal, Gustavo Aristides Santana Martinez, Célia Regina Tomachuk

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Departamento de Ciências Básicas e Ambientais, Estrada Municipal do Campinho, 100, 12602-810, Lorena, SP

A transição para processos de anodização sustentáveis não é mais uma opção, mas uma necessidade urgente – a anodização sulfúrico-tartárica (TSA) pode revolucionar a indústria, combinando alta performance com menor impacto ambiental.

1. Introdução

A anodização é um processo eletroquímico eficaz para a proteção e melhoria das propriedades superficiais das ligas de alumínio, especialmente em aplicações que exigem alta resistência à corrosão e ao desgaste [1-3]. Quando realizada em eletrólito ácido, a camada de óxido se organiza em uma estrutura porosa regular, composta por duas regiões distintas [1]:

- **camada barreira interna:** fina, com dezenas de nanômetros de espessura está em contato direto com o substrato metálico. Sua função principal é impedir o contato direto entre o eletrólito e o metal base, conferindo maior resistência à corrosão;

- **camada porosa externa:** espessa e regular, com alguns micrômetros de espessura é constituída por células colunares aproximadamente hexagonais, cada uma contendo um poro central que se estende até os limites da camada barreira.

A eficiência da anodização de ligas de alumínio está diretamente relacionada ao controle rigoroso de parâmetros operacionais, tais como composição do eletrólito, temperatura, densidade de corrente e tensão aplicada [4-5]. Esses parâmetros influenciam decisivamente a morfologia, espessura e propriedades físico-químicas da camada anódica, impactando sua resistência à corrosão, dureza e adesão a revestimentos subsequentes.

A estrutura porosa da camada anodizada depende especialmente do potencial aplicado e da temperatura do eletrólito. O aumento do potencial de anodização, sob temperatura constante, eleva a densidade de corrente, resultando em poros de maior diâmetro e,

As restrições ambientais ao cromo hexavalente (Cr6+) motivam o uso de anodização mais sustentável. Este estudo avalia a anodização sulfúrico-tartárica (TSA) em ligas de alumínio, destacando suas propriedades anticorrosivas, mecânicas e tribológicas, além da eficiência energética. Os resultados mostram que o TSA forma camadas uniformes com resistência à corrosão e ao desgaste semelhante ao Cr6+. Pós-tratamentos, como selagem hidrotérmica e adição de compostos de cério ou nanopartículas, melhoram a estabilidade térmica e química. O TSA reduz o consumo energético, facilita o tratamento de efluentes e atende às normas ambientais, embora ainda exija otimização e validação para aplicação industrial.

Palavras-chaves: Anodização. Ligas de Alumínio. Ácido Sulfúrico-Tartárico. Sustentabilidade.

Environmental restrictions on hexavalent chromium (Cr6+) drive the search for sustainable anodizing. This study evaluates tartaric-sulfuric acid anodizing (TSA) on aluminum alloys, focusing on anticorrosion, mechanical, and tribological properties, and energy efficiency. Results show TSA forms uniform oxide layers with corrosion and wear resistance comparable to Cr6+. Post-treatments, including hydrothermal sealing and cerium or nanoparticle modifications, enhance thermal and chemical stability. TSA reduces energy use, simplifies effluent treatment, and meets environmental standards, though further optimization and validation are needed for industrial application.

Keywords: Anodizing; Aluminum Alloys; Tartaric-Sulfuric Acid; Sustainability.

consequentemente, em uma camada com características distintas de porosidade e espessura [6-8]. Da mesma forma, a elevação da temperatura do eletrólito intensifica a dissolução química do óxido de alumínio, ampliando a porosidade da camada e afetando sua resistência mecânica e estabilidade química [9].

Além dos parâmetros de processo, a composição química da liga anodizada exerce forte influência sobre a qualidade final do revestimento. Elementos de liga, como cobre, zinco e outros, podem comprometer a uniformidade e a continuidade da camada de óxido, aumentando a suscetibilidade à corrosão [10-12]. Assim, a seleção adequada da liga, combinada com o ajuste preciso dos parâmetros de anodização, é fundamental para garantir o desempenho esperado [13].

2. Preparação da superfície para anodização

A preparação adequada da superfície do alumínio é essencial para garantir a qualidade do processo de anodização, influenciando diretamente a adesão e a uniformidade da camada anódica.

A limpeza inicial do substrato é realizada com desengraxantes, que podem ser **orgânicos ou alcalinos** [1-2, 14-17]. Em muitos casos, ambos os desengraxantes são aplicados em sequência.

- **desengraxantes orgânicos:** são eficazes na remoção de contaminantes derivados de petróleo, como óleos e graxas.
- **desengraxantes alcalinos:** além de eliminar contaminantes orgânicos, removem também óxidos superficiais e cátions metálicos dissolvidos, proporcionando uma limpeza mais completa.

Após o desengraxe, o substrato passa por um **decapante ácido**, cuja função é ativar a camada de óxido existente na superfície do metal. Em seguida, é realizada uma imersão em **ácido nítrico**, que neutraliza os efeitos do decapante e remove os óxidos ativados na etapa anterior [14, 17-19].

Cada etapa do processo é intercalada com lavagens em **água deionizada** para prevenir a contaminação cruzada entre os banhos [1-2, 17]. A quantidade de lavagens (simples, dupla

ou tripla) é definida com base nos requisitos específicos de cada processo, garantindo a pureza dos eletrólitos utilizados na anodização.

Após a preparação da superfície, o substrato é imerso em um eletrólito e conectado a um **gerador de corrente contínua, retificador**. Durante esse estágio, a peça anodizada atua como **ânodo**, enquanto o **cátodo**, geralmente composto por chumbo ou titânio, completa o circuito eletroquímico.

Dentre os principais processos de anodização empregados na indústria, destacam-se a **anodização crômica (CAA)**, a **anodização sulfúrica (SAA)** e a **anodização sulfúrico-tartárica (TSA)**, cujas características e aplicações serão discutidas nas próximas seções.

3. Processos de anodização: necessidade de sustentabilidade e substituição do íon cromo hexavalente

A anodização com ácido crômico (CAA - *chromic acid anodizing*), também conhecida como anodização crômica, é amplamente utilizada na indústria aeronáutica para o tratamento de ligas de alumínio, proporcionando excelente proteção contra corrosão e favorecendo a adesão de revestimentos [20]. A elevada resistência à corrosão das camadas anódicas é atribuída às propriedades inibidoras do íon cromato e, à sua capacidade de regeneração em regiões onde ocorrem falhas na camada de óxido [21-22]. No entanto, as preocupações toxicológicas e ambientais associadas ao uso de cromo hexavalente (Cr^{6+}), em processos industriais, levam a necessidade de investigar substitutos e à implementação de alternativas mais sustentáveis [23-24].

Entre as alternativas, a anodização com ácido sulfúrico (SAA - *sulfuric acid anodizing*) tem sido amplamente empregada devido à sua versatilidade, ou seja, permite ajustes em seus parâmetros para atender diferentes requisitos técnicos e industriais. Há dois tipos principais: anodização sulfúrica convencional e, anodização sulfúrica dura. A principal diferença está

nas condições operacionais, incluindo temperatura de operação, uso de aditivos, densidade de corrente e potencial aplicado no processo [25].

A anodização sulfúrica dura é conduzida a temperatura entre 0°C e 10°C , com densidades de corrente entre 2 A/dm^2 e $3,6 \text{ A/dm}^2$, resultando em camadas mais espessas e maior resistência à abrasão. Já a anodização sulfúrica convencional ocorre próximo à temperatura ambiente de 20°C a 25°C , com densidades de corrente menores formando camadas mais finas [25].

Apesar de ser considerada uma alternativa à anodização crômica, a SAA apresenta desvantagens como a redução da resistência à fadiga e a corrosividade residual do eletrólito retido na estrutura porosa da camada anódica [19, 26-27].

Diante dessas limitações, estudos vêm sendo realizados incorporando ácidos como oxálico, málico, fosfórico, bórico, sulfo-salicílico e tartárico ao eletrólito contendo ácido sulfúrico [19, 23-24, 26, 28-29]. Entre esses, o ácido tartárico tem se destacado por possibilitar a formação de camadas anódicas com porosidade regular e com proteção contra corrosão compatível à obtida com a anodização crômica [7].

A indústria aeronáutica europeia já adota a anodização TSA envolvendo a adição de ácido tartárico ao eletrólito de ácido sulfúrico diluído, para ligas da série 2000 [23, 30]. Esse processo é considerado ambientalmente amigável e apresenta resistência à corrosão compatível com os requisitos da indústria aeroespacial, além de garantir uma aderência satisfatória para revestimentos orgânicos [20, 31].

A expansão da anodização TSA para outras ligas de alumínio é estratégica para ampliar sua aplicação industrial. Contudo, sua implementação em escala industrial exige otimização de parâmetros de processo, de modo a assegurar desempenho técnico adequado às exigências de setores críticos, como a aeroespacial.

O Quadro 1 apresenta uma comparação entre as anodizações sulfúrica convencional (SAA) e a sulfúrico-tartárica (TSA), destacando as principais diferenças em termos de desempenho, impacto ambiental e aplicações.

Quadro 1 - Comparação entre anodização sulfúrica e sulfúrico-tartárica

Critério	Anodização Sulfúrica (SAA)	Anodização Sulfúrico-Tartárica (TSA)
resistência à corrosão	moderada, precisa de pós-tratamento	alta, especialmente com selagem de cério
resistência à fadiga	reduz significativamente a resistência do alumínio	impacto menor na resistência à fadiga
porosidade da camada anodizada	elevada, exigindo selagem adicional	menor, garantindo proteção mais eficaz
aderência de revestimentos	boa, mas pode ser comprometida por porosidade excessiva	excelente, favorecendo tintas e selantes
impacto ambiental	sem Cr^{6+} , mas pode gerar eletrólitos corrosivos	ambientalmente seguro, atende às normas internacionais
aplicações	indústria automotiva, eletroeletrônicos, arquitetura	indústria aeroespacial, defesa, componentes de alto desempenho

4. Processo de anodização com TSA

O eletrólito do processo de anodização sulfúrico-tartárica (TSA) é composto por ácido sulfúrico (40 g/L) e ácido tartárico (80 g/L) [1-2, 17, 24, 30, 32], que corresponde aproximadamente a uma concentração de 0,53 mol/L [1]. Estudos demonstram que flutuações na concentração de ácido tartárico e sulfúrico podem impactar a estrutura e a adesão da camada anodizada, afetando diretamente sua resistência à corrosão e propriedades mecânicas [17]. Por esse motivo, o controle da composição do banho e da temperatura devem ser rigorosos.

A presença do ácido tartárico no eletrólito modifica a estrutura do óxido anodizado, resultando em camadas menos porosas e mais compactas, sem comprometer a interação com *primers* e selantes [33]. Resíduos de tartarato

podem permanecer nos poros da camada anódica, atuando como barreiras adicionais contra a corrosão, principalmente após a selagem hidrotérmica [23].

4.1. Parâmetros do processo de anodização com TSA

Os parâmetros operacionais do TSA, resumido na Tabela 1, são determinantes para o desempenho da camada anódica formada. Quando corretamente ajustados, permitem a obtenção de camadas com maior resistência à fadiga e com taxa de corrosão comparáveis à anodização crômica [2, 17, 34], atendendo aos requisitos exigidos em aplicações industriais [15, 24, 34-35].

Temperatura do eletrólito

A temperatura do banho de anodização tem impacto direto na formação e estrutura da

Tabela 1 - Comparação entre anodização crômica e sulfúrico-tartárica

Parâmetro	Anodização crômica	Anodização sulfúrico-tartárica
Eletrólito	ácido crômico	ácido sulfúrico + ácido tartárico
Tensão aplicada (V)	40 - 80	12 - 20
Temperatura (°C)	35 - 50	20 - 30
pH	0,8 - 1,2	3,5 - 4,0
Espessura da camada (µm)	2 - 7	15 - 20
Taxa de corrosão (mm/ano)	0,7 - 1,0	0,8 - 1,2

Fonte: Baseado em [15, 24]

camada de óxido. Temperaturas elevadas (> 30°C) aceleram a taxa de anodização, resultando em uma camada mais densa, porém menos uniforme e com maior porosidade. Em contrapartida, temperaturas mais baixas (< 20°C) promovem uma camada mais compacta e homogênea, mas com menor taxa de crescimento e possível aumento da fragilidade [15]. Estudos indicam que manter o banho entre 20°C e 30°C proporciona um equilíbrio ideal entre espessura e uniformidade da camada, otimizando sua resistência mecânica e estabilidade química [20].

Controle do pH

O pH do banho é um fator determinante para a estabilidade da camada anódica. Valores inadequados podem comprometer a estrutura do óxido, resultando em microfissuras que reduzem a resistência mecânica e aumentam a suscetibilidade à corrosão [24]. Pesquisas demonstram que um pH ideal entre 3,5 e 4,0 favorece a formação de uma camada mais estável e menos suscetível a defeitos estruturais, garantindo maior resistência química do filme anódico [23].

Potencial aplicado

Estudos indicam que tensões na faixa de **12 V a 20 V** são ideais para garantir um crescimento controlado da camada anódica, equilibrando espessura e densidade estrutural [24]. Tensões mais altas podem resultar em camadas mais espessas, mas também aumentam a porosidade e podem comprometer a uniformidade do revestimento [36]. Dessa forma, a otimização do potencial aplicado é essencial para maximizar a resistência mecânica e anticorrosiva da camada formada.

Tempo de imersão

Períodos longos de imersão favorecem a espessura da camada anódica, mas um tempo excessivo pode levar à degradação estrutural devido à dissolução química do óxido no eletrólito. A combinação ideal de tempo de imersão, temperatura e pH do eletrólito garante a adesão eficiente do revestimento, aumentando sua durabilidade e resistência à corrosão. Estudos

mostram que a parametrização adequada pode aproximar o desempenho da TSA ao da anodização crômica, tornando-a uma alternativa viável para aplicações industriais e aeroespaciais [33].

4.2. Mecanismo de formação do filme de óxido na anodização com TSA

A formação do filme de óxido ocorre por meio de reações de oxidação do alumínio na superfície do metal, resultando na liberação de íons, que interagem com ânions sulfato e tartarato, formando uma camada dupla de óxido. A camada barreira, localizada junto à interface metal/óxido, formada principalmente por Al_2O_3 , é densa e compacta, conferindo proteção contra a penetração de agentes corrosivos. Já a camada porosa externa contém SO_4^{2-} e tartaratos incorporados, apresenta uma estrutura altamente ordenada, com canais verticais que variam conforme os parâmetros do processo, como o potencial aplicado, temperatura e tempo de anodização [24, 37-38].

Reações envolvidas na anodização TSA:

- oxidação do alumínio (reação anódica):
 $\text{Al} \longrightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$
- dissociação da água no eletrólito ácido:
 $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{H}^+ + \text{O}^{2-}$
- formação da camada de óxido de alumínio:
 $2\text{Al}^{3+} + 3\text{O}^{2-} \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$
- interação com ânions sulfato e tartarato:
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SO}_4^{2-} + \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{2-} \longrightarrow \text{camada estabilizada}$

4.3. Principais desafios técnicos identificados do processo TSA

Entre os principais, destacam-se:

- sensibilidade a impurezas no eletrólito: contaminações presentes no banho podem comprometer a formação homogênea e uniformidade da camada anódica;
- controle preciso da porosidade: pequenas variações nos parâmetros operacionais podem comprometer a selagem e proteção anticorrosiva;

- espessura inferior em relação à CAA: pode limitar sua aplicação em componentes sujeitos a elevados requisitos de resistência, como em estruturas aeronáuticas críticas;

Dentre as soluções para mitigar tais limitações, destacam-se:

- adição de estabilizadores químicos ao eletrólito: melhoram a estabilidade da camada oxidada e minimizam falhas estruturais;
- monitoramento automatizado dos parâmetros do banho: sistemas inteligentes de controle em tempo real ajudam a manter a composição do eletrólito dentro da faixa ideal.
- aplicação de pós-tratamentos híbridos: como a selagem com íons de cério ou nanopartículas metálicas, podem compensar a menor espessura da camada TSA, ampliando sua robustez para aplicações severas.

4.4. Principais desafios ambientais e regulatórios identificados do processo TSA

Entre os principais desafios ambientais e normativos [39], destacam-se:

- necessidade de requalificação de processos e componentes: o TSA ainda não é amplamente certificado para aplicações em peças de segurança crítica, exigindo extensivos testes de compatibilidade, durabilidade e desempenho;
- elevado custo de transição tecnológica: a substituição da anodização CAA pra TSA demanda investimentos substanciais e readequação de infraestrutura industrial, além de atualização de processos e capacitação de profissionais;
- gestão de resíduos gerados pelo TSA: embora mais seguro que o CAA, o TSA ainda gera resíduos ácidos contendo sulfatos e tartaratos, que necessitam de tratamento adequado antes do descarte.

Dentre as principais estratégias para superar essas barreiras, destacam-se:

- desenvolvimento de padrões normativos específicos para TSA por entidades como ISO, ABNT e SAE facilitaria o processo de

homologação e sua adoção em diferentes setores industriais;

- implementação de políticas de incentivos à transição industrial: programas governamentais de apoio, como subsídios e financiamentos, podem auxiliar empresas a migrarem do processo CAA para TSA, promovendo a sustentabilidade sem comprometer a competitividade;
- otimização da reciclagem de eletrólitos: como sistemas de ultrafiltração, eletrodiálise e precipitação seletiva, podem reduzir custos operacionais e minimizar o impacto ambiental do processo.

Cabe destacar que algumas empresas, como a Airbus, já iniciaram substituição da anodização crômica pela TSA em suas linhas de produção, especialmente para peças estruturais de aeronaves. No entanto, desafios como a compatibilidade com adesivos estruturais e compostos de vedação ainda limitam sua adoção integral, especialmente em componentes pressurizados e de alta responsabilidade, como fuselagens e asas [40].

5. Pós-tratamentos

A anodização de ligas de alumínio gera uma camada porosa, cuja resistência à corrosão pode ser significativamente aprimorada por meio de pós-tratamentos adequados denominado de selagem [1, 19, 41-42], a qual ocorre em etapas sucessivas [1-2, 41, 43-44].

A Figura 1 ilustra as modificações estruturais da camada anodizada antes e após o processo de selagem, destacando o preenchimento dos poros e a formação de uma camada protetiva mais densa [45]

Os principais métodos de selagem para anodização TSA incluem:

- selagem hidrotérmica (HTS);
- selagem com inibidores de corrosão;
- selagem com nanopartículas metálicas.

Cada uma dessas abordagens apresenta vantagens e desafios, sendo a escolha do método dependente das exigências da aplicação e do desempenho desejado para a peça anodizada.

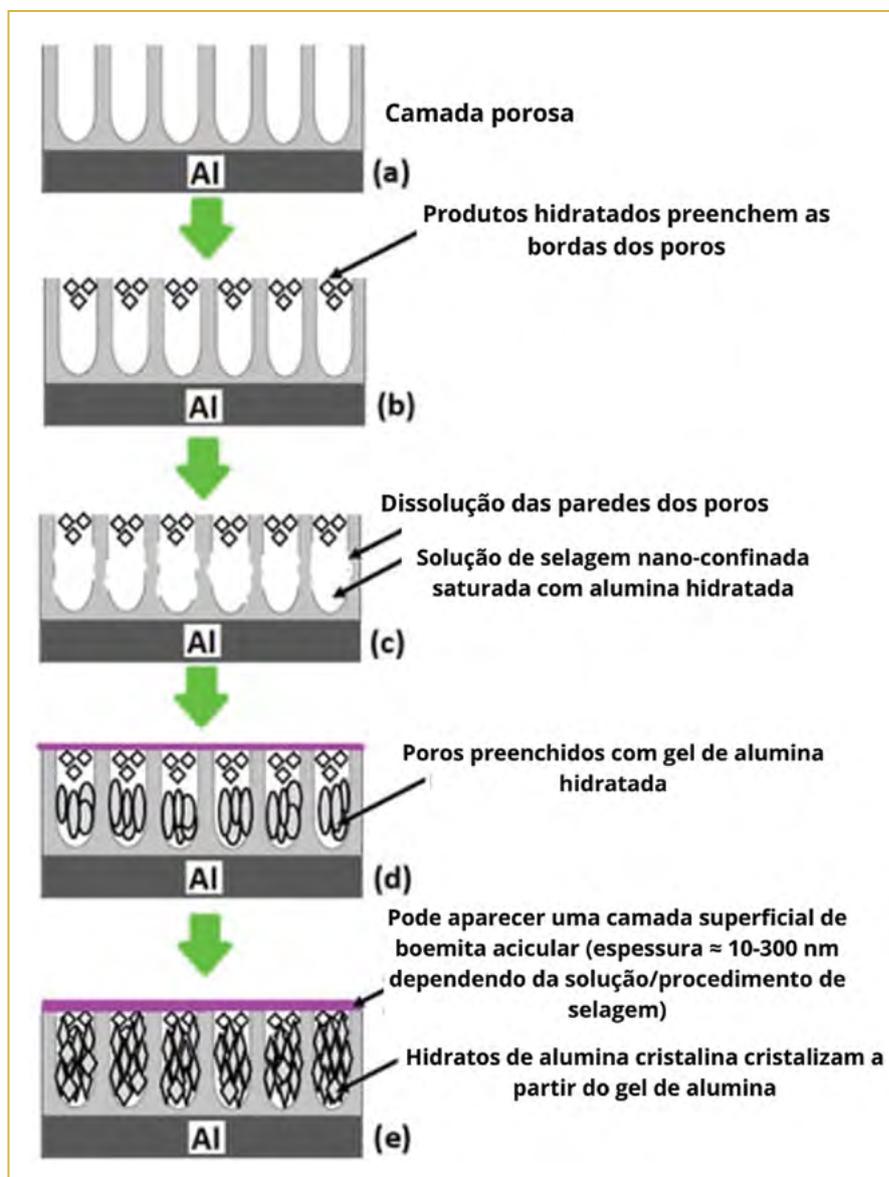


Figura 1 - Estrutura da camada anodizada no alumínio antes e após a selagem; (a) alumínio anodizado antes da selagem, (b) poros preenchidos com produtos hidratados, (c) dissolução das paredes dos poros, (d) precipitação de gel de alumina hidratado nos poros e a camada superficial de boemita acicular, (e) cristalização de alumina cristalina a partir de gel de alumina.

Fonte: Baseado em [45]

5.1 Selagem hidrotérmica (HTS)

A selagem hidrotérmica (HTS), realizada por imersão da peça anodizada em água fervente, é um dos métodos mais utilizados. Esse processo promove o fechamento dos poros da camada de óxido por meio da hidratação do alumínio, convertendo-o em boemita ($\text{AlO}(\text{OH})$), o que melhora significativamente sua resistência à corrosão e estabilidade química.

A eficácia da HTS está diretamente relacionada a parâmetros operacionais como temperatura e tempo de imersão. Estudos indicam que a selagem realizada a 98°C por 30 min pode

aumentar a resistência da camada anodizada em mais de 40% em comparação a um material não selado [1]. Além disso, melhora a adesão de revestimentos poliméricos, tornando-se uma solução eficaz para aplicações aeroespaciais, onde a proteção contra corrosão e a estabilidade química são fundamentais [33].

A simplicidade da HTS, aliada à ausência de produtos químicos adicionais, torna esse método uma escolha sustentável e eficiente para a selagem de camadas anodizadas, sendo amplamente adotado em setores que priorizam práticas ambientalmente responsáveis.

5.2 Selagem com inibidores de corrosão

Inibidores de corrosão podem ser adicionados diretamente no banho de anodização ou aplicados posteriormente como parte do processo de pós-tratamento da camada anodizada. Esses compostos promovem a formação de óxidos protetores que atuam como barreiras químicas, impedindo o transporte de íons corrosivos e minimizando falhas ao longo do tempo. Entre os principais inibidores estudados, destacam-se o cério, molibdato e permanganato, cada um com um mecanismo específico de proteção [1].

Cério: a utilização de pós-tratamento contendo nitrato de cério ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$) promove a deposição de nanopartículas de Ce ao longo das paredes dos poros e em regiões defeituosas da camada anodizada [46], proporcionando um efeito **autorregenerativo** [47-48].

Prada demonstrou que a adoção de cério na anodização TSA aumenta a resistência à corrosão em até 60%, reduzindo a formação de pites em soluções de NaCl [33].

Os benefícios da selagem com cério incluem:

- **efeito autorregenerativo:** íons Ce^{3+} oxidam-se a Ce^{4+} , promovendo a formação contínua de óxidos protetores;
- **redução da permeabilidade da camada anodizada:** minimiza a penetração de íons cloreto e melhora a estabilidade química;
- **compatibilidade com outras técnicas:** pode ser combinada com a HTS para maior proteção anticorrosiva.

Os desafios da selagem com cério incluem:

- **controle rigoroso da concentração no eletrólito:** concentrações inadequadas podem comprometer a estabilidade da camada anodizada;
- **custo elevado em comparação à HTS:** a viabilidade industrial exige otimização dos custos e processos para ampla implementação.

Molibdato: a adição de molibdato de sódio (Na_2MoO_4) ao banho TSA aumenta a

espessura da camada barreira e reduz a permeabilidade dos poros, retardando a corrosão. Concentrações entre **0,1 mol/L** e **0,5 mol/L** demonstraram melhora significativa na resistência anticorrosiva [1, 19]. Além disso, a dopagem com **cério e molibdênio** cria barreiras **autorregenerativas**, reduzindo defeitos estruturais e fissuras. Ensaio em câmara de névoa salina indicaram diminuição na taxa de corrosão em até **40%**, tornando-a uma alternativa viável ao cromo hexavalente (Cr^{6+}) [49-50].

Permanganato: a adição de permanganato de potássio (KMnO_4) no banho TSA influencia a estrutura da camada anódica, reduzindo a porosidade e aumentando a espessura das camadas porosa e de barreira. Isso resulta em melhor resistência à corrosão das ligas de alumínio anodizadas, proporcionando maior estabilidade química e mais durabilidade em ambientes agressivos [1].

5.3 Selagem com nanopartículas metálicas

A incorporação de nanopartículas metálicas, como óxido de titânio (TiO_2), óxido de zinco (ZnO) e óxido de alumínio (Al_2O_3), tem se mostrado uma estratégia eficiente para melhorar as propriedades mecânicas, tribológicas e anticorrosivas das camadas anodizadas. Essas partículas atuam como reforços estruturais, promovendo o preenchimento dos poros da camada anodizada, aumentando a densidade e a uniformidade do filme anódico, além de reduzir a permeabilidade a agentes corrosivos [51].

O mecanismo de ação das nanopartículas na selagem da camada anódica envolve três aspectos principais:

- preenchimento dos poros da camada de óxido, reduzindo a permeabilidade e promovendo uma estrutura mais homogênea;
- aumento da dureza superficial, reduzindo o desgaste e a abrasão, tornando a camada mais resistente a solicitações mecânicas;
- criação de superfícies hidrofóbicas, minimizando a absorção de umidade e, consequentemente, reduzindo os efeitos da corrosão galvânica.

Estudos recentes comprovam a eficácia desse tipo de selagem. Dinesh et al. [51] demonstraram que a adição de TiO₂ aumenta a resistência ao desgaste da anodização TSA em 30%. Behvar et al. [53] relataram que camadas seladas com ZnO apresentaram uma redução de 25% na taxa de corrosão em ambientes altamente agressivos.

No entanto, apresenta desafios técnicos que precisam ser superados:

- risco de agregação das partículas, que pode comprometer a formação homogênea da camada e reduzir sua eficácia.
- necessidade de controle preciso da distribuição das nanopartículas dentro da matriz da camada anodizada, evitando regiões com excesso ou deficiências de material selante.

6. Revestimentos híbridos

O avanço das tecnologias de proteção contra corrosão tem impulsionado o desenvolvimento de **revestimentos híbridos**, que combinam diferentes processos para otimizar a **resistência química, mecânica e térmica** das camadas anodizadas. No contexto da **anodização sulfúrico-tartárica (TSA)**, essas abordagens têm se mostrado particularmente eficazes para superar limitações da anodização convencional, melhorando a **proteção anticorrosiva e a adesão a revestimentos posteriores** [27, 33-34, 54-57].

O Quadro 2 apresenta uma comparação das soluções híbridas mais promissoras.

Quadro 2 - Comparação entre principais revestimentos híbridos para anodização TSA

Critério	Sol-gel funcionalizado	Conversão química	Anodização TSA assistida por Plasma Eletrolítico (PEO)
mecanismo de proteção	formação de barreira hidrofóbica e química	formação de barreira autorregenerativa por dopagem com inibidores ativos	formação de camadas cerâmicas ultrarresistentes
principais componentes	tetraetoxissilano (TEOS), glicidilpropiltrimetoxissilano (GPTMS), nanopartículas funcionais	cério, molibdênio, zircônio	plasma de alta tensão em eletrólitos alcalinos
resistência à corrosão	alta (> 65% de proteção)	média-alta (> 40% de proteção)	muito alta (resistência superior em ambientes agressivos)
resistência ao desgaste	média (melhoria limitada)	média (depende do inibidor utilizado)	muito alta (triplica a resistência ao desgaste)
adesão a primers e selantes	alta (ótima aderência a tintas e vernizes)	média (pode exigir compatibilização com primers)	muita alta (forte ligação química e mecânica)
estabilidade térmica	média-alta (resiste bem a variações térmicas moderadas)	média (requer otimização para altas temperaturas)	muito alta (resistência térmica elevada)
complexidade do processo	média (necessidade de controle fino da formulação)	baixa (processo de conversão química relativamente simples)	alta (processo exige equipamentos especializados)
principais aplicações	indústria aeroespacial, automotiva, eletroeletrônica	engenharia naval, componentes estruturais metálicos	aeroespacial, defesa, engenharia estrutural avançada
sustentabilidade ambiental	alta (livre de metais pesados)	média (possível geração de resíduos químicos)	alta (processo com baixo impacto ambiental)
principais desafios	controle da deposição e estabilidade química	compatibilidade com diferentes substratos e processos de anodização	elevado custo e necessidade de equipamentos especializados

7. Perspectivas tecnológicas

O avanço da anodização TSA tem impulsionado pesquisas para otimizar suas propriedades e expandir suas aplicações industriais. Uma das inovações mais promissoras é a **selagem com hidróxidos duplos lamelares (LDH)**, que forma barreiras químicas eficientes dentro dos poros da camada anódica, aumentando significativamente a resistência à corrosão [18]. Outra abordagem inovadora é a **anodização assistida por plasma eletrolítico (PEO)**, que promove a formação de camadas cerâmicas ultrarresistentes, melhorando a durabilidade e estabilidade térmica dos componentes anodizados (ver Quadro 2).

A **incorporação de nanoestruturas** na matriz anódica tem demonstrado benefícios expressivos. A dopagem com óxidos metálicos e partículas de grafeno melhora a resistência mecânica, reduz a aderência de contaminantes e confere propriedades hidrofóbicas, prolongando a vida útil do revestimento [35]. Esses avanços são particularmente relevantes para aplicações que exigem alta durabilidade, como na indústria aeroespacial e eletrônica.

O futuro da anodização TSA é promissor e repleto de oportunidades para inovação. À medida que pesquisas aprimoram sua eficiência e desempenho, espera-se que o TSA seja amplamente adotado não apenas no setor aeroespacial, mas também na eletrônica, na indústria automotiva, em energias renováveis e nanotecnologia [39].

8. Considerações Finais

A anodização sulfúrico-tartárica (TSA) mostra-se uma alternativa promissora e ambientalmente sustentável para substituir a anodização crômica (CAA) em ligas de alumínio. O TSA oferece resistência à corrosão e adesão a revestimentos comparáveis às obtidas com o Cr^{6+} , atendendo às regulamentações ambientais.

Avanços em pós-tratamentos, como selagem hidrotérmica e incorporação de inibidores de corrosão, têm demonstrado aprimorar

significativamente a durabilidade e desempenho da camada anódica. Contudo, desafios técnicos e normativos ainda precisam ser superados para sua aplicação industrial

A otimização dos parâmetros de anodização, o desenvolvimento de selagens avançadas e a adaptação da tecnologia para diferentes ligas metálicas são aspectos fundamentais para consolidar o TSA como padrão na indústria aeroespacial e em outros setores de alta exigência. A compatibilidade do TSA com processos de manufatura aditiva também se apresenta como um campo promissor para pesquisas futuras, possibilitando novas aplicações em componentes com geometrias complexas.

A transição para processos livres de Cr^{6+} é um imperativo ambiental e tecnológico. O desenvolvimento de normativas específicas, incentivos à conversão industrial e a ampliação de estudos de longo prazo serão essenciais para viabilizar sua adoção definitiva, assegurando que a anodização TSA se torne um novo padrão global para a proteção de ligas de alumínio.

Referências

- [1] ALMEIDA, T. F. de. **Efeito da adição de inibidores de corrosão ao banho de anodização sobre a resistência à corrosão da liga de alumínio 2024-T3 clad anodizada em ácido tartárico-sulfúrico**. 2023. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-23052024-094935/pt-br.php>. Acesso em: 16 jan. 2025.
- [2] RAMIREZ, O. M. P. **Avaliação da resistência à corrosão da liga 2024-T3 anodizada com ácido tartárico-sulfúrico**. 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-16092019-091627/publico/OscarMauricioPradaRamirezCorr19.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2025.
- [3] VARGEL, C. Corrosion of aluminium. Elsevier Science, 1st Ed., p. 190, 2004.
- [4] THOMPSON, G. E.; HABAZAKI, H.; SHIMIZU, K.; SAKAIRI, M.; SKELDON, P.; ZHOU, X.; WOOD, G. C. Anodizing of aluminium alloys. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, v. 71, n. 3, p. 228 - 238, 1999. <https://doi.org/10.1108/00022669910270709>
- [5] WHELAN, M.; CASSIDY, J.; DUFFY, B. Sol-gel sealing characteristics for corrosion resistance of anodised aluminium. **Surface and Coatings Technology**, v. 235, p. 86-96, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.07.018>
- [6] DEBUYCK, F.; MOORS, M.; VAN PETEGHEM, A. P. The influence of the anodization temperature and voltage porosity of the anodization layer on aluminum. **Materials Chemistry and Physics**, v. 36, n. 1-2, p. 146-149, 1993. [https://doi.org/10.1016/0254-0584\(93\)90023-F](https://doi.org/10.1016/0254-0584(93)90023-F)

- [7] ONO, S.; SAITO, M.; ASOH, H. Self-ordering of anodic porous alumina formed in organic acid electrolytes. *Electrochimica Acta*, v. 51, n. 5, p. 827-833, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2005.05.058>
- [8] THEOHARI, S.; KONTOGEORGOU, CH. Effect of temperature on the anodizing process of aluminum alloy AA 5052. *Applied Surface Science*, v. 284, p. 611- 618, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.07.141>
- [9] AERTS, T.; DIMOGERONTAKIS, TH.; GRAEVE, I. de.; FRANSAER, J.; TERRY, H. Influence of the anodizing temperature on the porosity and the mechanical properties of the porous anodic oxide film. *Surface and Coatings Technology*, v. 201, n. 16-17, p. 7310-7317, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.01.044>
- [10] KORZEKWA, J. Modification of the structure and properties of oxide layers on aluminium alloys: a review. *Reviews on Advanced Materials Science*, v. 62, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.1515/rams-2023-0108>
- [11] KUMAR, R.; SINGH, V. Effect of alloying elements on corrosion resistance of aluminum alloys: a review. *Materials Today: Proceedings*, v. 61, p. 55-62, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.069>
- [12] FABRIS, R.; MASI, G.; BIGNOZZI, M.C. Corrosion behavior of aluminum alloys in different alkaline environments: effect of alloying elements and anodization treatments. *Coatings*, v. 14, n. 2, p. 240, 2024. <https://doi.org/10.3390/coatings14020240>
- [13] ALONSO, F. R. **Efeito do tempo de atuação da polaridade positiva no desempenho de revestimentos anódicos em ligas de alumínio**. 2020. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Pelotas. 2023. Disponível em: <https://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/9975>. Acesso em: 16 jan. 2025.
- [14] VENZ, R. Tratamento de superfície de alumínio -TSA. *Tratamento de superfície*, n. 204, p. 24-28, 2017.
- [15] DING, Z. Mechanistic study of thin film sulfuric acid anodizing rate difference between Al2024 T3 and Al6061 T6. *Surface and Coatings Technology*, v. 357, p. 280-288, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.09.083>
- [16] MARTINEZ-VIADEMONTE, M.P.; ABRAHAMI, S.T.; HACK, T.; BURCHARDT, M.; TERRY, H. A review on anodizing of aerospace aluminum alloys for corrosion protection. *Coatings*, v. 10, p. 1106, 2020. <https://doi.org/10.3390/coatings10111106>
- [17] MARTINEZ-VIADEMONTE, M.P.; ABRAHAMI, S.T.; HACK, T.; BURCHARDT, M. Adhesion properties of tartaric sulfuric acid anodic films assessed by a fast and quantitative peel tape adhesion test, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 116, p. 103156, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2022.103156>
- [18] ZHU, P.; Ma, Y.; Li, K.; Liang, Z.; Yang, B.; Huang, W.; Liao, Y.; Sealing of anodized AA2099-T83 Al-Cu-Li alloy with layered double hydroxides for high corrosion resistance at reduced anodic film thickness. *Surface Coatings Technology*, v. 394, p. 125852, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125852>
- [19] GARCÍA-RUBIO, M.; OCÓN P.; CLIMENT-FONT A.; SMITH, R.W.; CURIONI, M.; THOMPSON G.E.; SKELDON P.; LAVIA A.; GARCÍA, I. Influence of molybdate species on the tartaric acid/sulfuric acid anodic films grown on AA2024 T3 aerospace alloy. *Corrosion Science*, v. 51, n. 9, p. 2034-2042, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.05.034>
- [20] GARCÍA-RUBIO, M.; OCÓN, P.; CURIONI, M.; THOMPSON, G.E.; SKELDON, P.; LAVÍA, A.; GARCÍA, I. Degradation of the corrosion resistance of anodic oxide films through immersion in the anodising electrolyte. *Corrosion Science*, v. 52, n. 7, p. 2219-2227, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.03.004>
- [21] KENDIG, M.; JEANJAQUET, S.; ADDISON, R.; WALDROP, J. Role of hexavalent chromium in the inhibition of corrosion of aluminum alloys. *Surface and Coatings Technology*, v. 140, n. 1, p. 58-66, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(01\)01099-4](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(01)01099-4)
- [22] ZHAO, J.; XIA, L.; SEHGAL, A.; LU, D., MCCREERY, R. L.; FRANKEL, G. S. Effects of chromate and chromate conversion coatings on corrosion of aluminum alloy 2024-T3. *Surface and Coatings Technology*, v. 140, n.1, p. 51-57, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(01\)01003-9](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(01)01003-9)
- [23] ARENAS, M. A.; CONDE, A.; DAMBORENEA, J. J. DE. Effect of acid traces on hydrothermal sealing of anodising layers on 2024 aluminium alloy. *Electrochimica Acta*, v. 55, n. 28, p. 8704-8708, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.07.089>
- [24] CURIONI, M.; SKELDON, P.; KOROLEVA, E.; THOMPSON, G. E.; FERGUSON, J. Role of tartaric acid on the anodizing and corrosion behavior of AA 2024 T3 aluminum alloy. *Journal of The Electrochemical Society*, v. 156, n. 4, p. C147- C153, 2009. <https://doi.org/10.1149/1.3077602>
- [25] COTELL, C. M.; SPRAGUE, J.A.; SMIDT, F.A. **Anodizing**. ASM Handbook, 1994.v. 5: Surface Engineering, p. 482-493.
- [26] TROMPETTE, J. L.; ARURAU, L.; FONTORBES, S.; MASSOT, L. Influence of the anion specificity on the electrochemical corrosion of anodized aluminum substrates. *Electrochimica Acta*. v. 55, n. 8, p. 2901-2910, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2009.12.063>
- [27] QUEIROZ, F.M.; BUGARIN, A.F.S.; AYUSSO, V.H.; TERADA, M.; COSTA, I. Investigation on the effect of a chromium-free sealing treatment for the corrosion resistance of AA-2198-T851 after tartaric sulphuric anodizing (TSA). *Corrosion and Materials Degradation*, v. 4, n. 2, p. 331-334, 2023. <https://doi.org/10.3390/cmd4020017>
- [28] DOMINGUES, L.; FERNANDES, J. C. S.; DA CUNHA BELO, M.; FERREIRA, M. G.S.; GUERRA-ROSA, L. Anodising of Al 2024-T3 in a modified sulphuric acid/boric acid bath for aeronautical applications. *Corrosion Science*, v. 45, n. 1, p. 149-160, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(02\)00082-3](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(02)00082-3)
- [29] SCHROEDER, D.; HARRIS, A. J. Novel approaches to aluminum anodizing for high-performance coatings. *Surface and Coatings Technology*, v. 429, p. 127835, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127835>
- [30] PIERRE, B.; CÉLINE, G.; CÉDRIC, S.; DAVID, P. (2013). Method for anodizing parts made of an aluminum alloy. **Patente WO/2013/117759**. Disponível em: **WO2013117759 METHOD FOR ANODIZING PARTS MADE OF AN ALUMINUM ALLOY**. Acesso em: 26 jan. 2025.
- [31] FENG, Z.; LIU, Y.; THOMPSON, G. E.; SKELDON, P. Sol-gel coatings for corrosion protection of 1050 aluminium alloy. *Electrochimica Acta*, v.

- 55, n. 10, p. 3518– 3527, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.01.074>
- [32] BOISIER, G.; PÉBÈRE, N.; DRUEZ, C.; VILLATTE, M.; SUEL, S. FESEM and EIS.Study of Sealed AA2024 T3 Anodized in Sulfuric Acid Electrolytes: Influence of Tartaric Acid. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 155, p. C521-C529, 2008. <https://doi.org/10.1149/1.2969277>
- [33] PRADA, O. M. Estudo da resistência à corrosão da liga de alumínio 2024-T3 anodizada em ácido tartárico sulfúrico protegida com recobrimentos híbridos sol-gel modificados com inibidores. 2024. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-18092024-084535/publico/OscarMauricioPradaRamirezCorr24.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2025.
- [34] LI, C.; LUO, K.; YAN, B.; SUN, W.; JIANG, L.; LI, P.; ZHANG, Y.; WANG, S.; YU, Y.; ZHU, X.; SONG, Y. Simulation of Anodic Current and Optimization of the Fitting Equation and the Fitting Algorithm during Constant Voltage Anodization. **The Journal of Physical Chemistry C**. v. 127, n. 20, p. 9707-9716. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.3c01612>
- [35] CURIONI, M.; ZULETA, A. A.; CORREA, E.; PAN, X.; BARON-WIECHEC, A.; SKELDON, P.; CASTAÑO, J. G.; ECHEVERRÍA, F.; THOMPSON, G. E. Formation of protective anodic oxides on aluminium by low voltage anodising in sulphuric acid with cerium nitrate and tartaric acid additions. **Institute of Metal Finishing. Transactions**, v. 90, n. 6, p. 290-297, 2012. <https://doi.org/10.1179/0020296712Z.00000000059>.
- [36] MUBAROK, M. Z.; WAHAB; SUTARNO; WAHYUDI, S. Effects of Anodizing Parameters in Tartaric-Sulphuric Acid on Coating Thickness and Corrosion Resistance of Al 2024 T3 Alloy. **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, v. 3, n. 3, p. 154-163, 2015. <http://dx.doi.org/10.4236/jmmce.2015.33018>
- [37] LEKATOU, A.; SIOULAS, D.; KARANTZALIS, A. E.; GRIMANELIS, D. A comparative study on the microstructure and surface property evaluation of coatings produced from nanostructured and conventional WC-Co powders HVOF-sprayed on Al7075. **Surface and Coatings Technology**, v. 276, p. 539-556, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.06.017>
- [38] RAMIREZ, O.M.P.; QUEIROZ, F.M.; TERADA, M.; DONATUS, U.; COSTA, I.; OLIVIER, M.G.; DER MELO, H.G. EIS investigation of a Ce-based posttreatment step on the corrosion behaviour of Alclad AA2024 anodized in TSA. **Surface and Interface Analysis**, v. 51, p. 1260-1275, 2019. <https://doi.org/10.1002/sia.6633>
- [39] CARANGELO, A. **Surface Green Technologies for Aeronautic Industry**. Tese (Doutorado), Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Itália, 2017 Disponível em: carangelo_anna_30.pdf. Acesso em: 20/02/2025.
- [40] GALVATEK. Environmentally friendly aluminium anodising process. **International Surface Technology**. v. 10, p. 46-47, 2017. <https://doi.org/10.1007/s35724-017-0032-0>
- [41] GRUBBS, C. A. Anodizing of aluminum. **Metal Finishing**, v. 105, n. 10, p. 397-412, 2007. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(07\)80359-X](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(07)80359-X).
- [42] CAPELOSSI, V.R.; POELMAN, M.; RECLOUX, I.; HERNANDEZ, R.P.B.; de MELO H.G.; OLIVIER M.G. Corrosion protection of clad 2024 aluminum alloy anodized in tartaric-sulfuric acid bath and protected with hybrid sol-gel coating. **Electrochimica Acta**, v. 124, p. 69-79, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2013.09.004>
- [43] GONZÁLEZ, J. A.; LOPEZ, V.; BAUTISTA, A.; OTERO, E. Characterization of porous aluminium oxide films from a.c. impedance measurements. **Journal of Applied Electrochemistry**, v. 29, p. 229-238, 1999. <https://doi.org/10.1023/A:1003481418291>
- [44] HAO, L.; CHENG, B. R. Sealing processes of anodic coatings-past, present and future. **Metal Finishing**, v. 98, n. 12, p. 8-18, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(01\)80002-7](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(01)80002-7)
- [45] OFOEGBU, S. U.; FERNANDES, F. A. O.; PEREIRA, A. B. The sealing step in aluminum anodizing: a focus on sustainable strategies for enhancing both energy efficiency and corrosion resistance. **Coatings**, v. 10, n. 3, p. 226, 2020. <https://doi.org/10.3390/coatings10030226>
- [46] MENG, C.; Zhang, D.; Zhuang, L.; Zhang, J. Correlations between stress corrosion cracking, grain boundary precipitates and Zn content of Al-Mg-Zn alloys. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 655, p. 178-187, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.09.159>
- [47] CHEN, S.; ZHANG, S.; REN, X.; XU, S. Cerium-based chemical conversion coating on aluminum alloy to inhibit corrosion in chloride solution. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 10, n. 11, p. 9073-9088, 2015. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)11161-8](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)11161-8).
- [48] VALDEZ B., S. KIYOTA, M. STOYTCHIEVA, R. ZLATEV, J.M. BASTIDAS. Cerium-based conversion coatings to improve the corrosion resistance of aluminium alloy 6061-T6. **Corrosion Science**, v. 87, p. 141-149, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.06.023>
- [49] QUEIROZ, F. M.; TERADA, M. Corrosion resistance of tartaric-sulfuric acid anodized AA2024-T3 sealed with Ce and protected with hybrid sol-gel coating. **Surface and Coatings Technology**, v. 372, p. 422-426, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.126507>
- [50] TERADA, M.; QUEIROZ, F.M.; AGUIAR, D.B.S.; AYUSSO, V.H.; COSTENARO, H.; OLIVIER, M.G.; DE MELO, H. G.; COSTA, I. Corrosion resistance of tartaric-sulfuric acid anodized AA2024-T3 sealed with Ce and protected with hybrid sol-gel coating. **Surface Coatings Technology**, v. 372, n. 9, p. 422-426, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.05.028>
- [51] DINESH, D.; BHASKAR, G. B.; VASUMATHI, M.; RASHIA BEGUM, S. Investigation on tribological characteristics of Al 7075 coated with aluminium chromium nitride (AlCrN) by magnetron sputtering. **Materials Today: Proceedings**, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2024.03.040>.
- [52] ONO S. Nanostructure analysis of anodic films formed on aluminum-focusing on the effects of electric field strength and electrolyte anions. **Molecules**. v. 26, n. 23, p. 7270, 2021. <https://doi.org/10.3390/molecules26237270>.
- [53] BEHVAR, A.; HAGHSHENAS, M. A critical review on very high cycle corrosion fatigue: Mechanisms, methods, materials, and models. **Journal of Space Safety Engineering**, v. 10, n. 3, p. 284-323, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsse.2023.05.002>.

[54] COSTENARO, H., QUEIROZ, F.M.; TERADA, M.; OLIVIER, M.G.; COSTA, I.; DE MELO, H.G. Corrosion protection of AA2524-T3 anodized in tartaric-sulfuric acid bath and protected with hybrid sol-gel coating. **Key Engineering Materials**, v. 710, p. 210-215, 2016. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.710.210>

[55] TOMCZYK, K.; STEPNIOWSKI, W.J. Incorporation of anions into anodic alumina-A new track in Cr(VI) anodizing substitution?. **Materials**, v. 17, n. 12, p. 2938, 2024. <https://doi.org/10.3390/ma17122938>

[56] DONAHUE, C. J.; EXLINE, J. A. Anodizing and coloring aluminum alloys. **Journal of Chemical Education**, v. 91, p. 711, 2014. <https://doi.org/10.1021/ed3005598>

[57] DEL OLMO, R.; TIRINGER, U.; MILOSEV, I.; VISSER, P.; ARRABAL, R.; MATYKINA, E.; MOL, J.M.C. Hybrid sol-gel coatings applied on anodized AA2024-T3 for active corrosion protection. **Surface and Coatings Technology**, v. 419, p. 126525, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.126525>

Autores

Wesley Felipe Capucho

Técnico em Manutenção Eletromecânica pelo SENAI e Graduado em Gestão da Produção Industrial pela FATEC - Cruzeiro. Atualmente, cursa Engenharia de Materiais na Escola de Engenharia de Lorena - USP e Engenharia Biomédica no Centro Universitário Internacional - UNINTER. Possui um MBA em Pesquisa Clínica, integrando a pesquisa avançada com aplicações práticas em engenharia e ciências biomédicas. Complementa sua formação com certificações do Google em Gestão de Projetos e Análise de Dados, além de um curso em Design de Soluções de Alto Impacto pelo MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts). Como pesquisador, atuou e liderou equipes no desenvolvimento de projetos inovadores utilizando inteligência artificial, bioengenharia, ciência de dados e ciência dos materiais para criar soluções tecnológicas assistivas voltadas às demandas da saúde pública.

<http://lattes.cnpq.br/9367731144202450>

<https://orcid.org/0009-0008-2495-8092>

wesleycapucho@usp.br

Elaine Bassanelli

Mestranda em Ciência e Engenharia de Materiais e graduanda em Engenharia Química na Escola de Engenharia de Lorena - USP. Possui pós-graduação Lato Sensu em Ciências e Engenharia dos Materiais pela faculdade Unyleia (2021) e graduação em Tecnologia em Processos Metalúrgicos pela Fatec de Pindamonhangaba (2012).

Atualmente é Especialista de Métodos e Processos Especiais da empresa Liebherr Aerospace Brasil com atuação na área de Tratamentos de Superfície de alumínio e aço inox, Pintura e Ensaio Não Destrutivos, com foco principal em homologação e desenvolvimento de processos especiais, bem como acompanhamento e monitoramento.

<https://lattes.cnpq.br/0845896403386484>

<https://orcid.org/0000-0002-5301-724X>

elaine.bassanelli@liebherr.com

Guilherme Roberto Cristal

Graduando em Engenharia Química pela Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. Assistente de Qualidade na Liebherr Aerospace Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/8881310808669785>

Guilherme.Cristal@liebherr.com

Gustavo Aristides Santana Martinez

Graduação em Administração pela Universidade Metodista de São Paulo (2012), graduação em Engenharia de Operação Mecânica pela Universidade Braz Cubas (1982), mestrado (1993) e doutorado (1998) em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. Atualmente é Professor Associado da Escola de Engenharia de Lorena-USP. Tem experiência na área de Administração e Engenharia Mecânica, com ênfase em Conformação. Atua principalmente nos seguintes temas: solução inventiva de problemas, ensino da engenharia, trefilação, conformação mecânica, tribologia e lubrificação.

<http://lattes.cnpq.br/3828935126781467>

<https://orcid.org/0000-0002-7870-9269>

gustavo.martinez@usp.br

Célia Regina Tomachuk

Química, Mestre e Doutora em Engenharia na área de Processos de Fabricação pela Universidade Estadual de Campinas e pela Università Politecnica delle Marche, Ancona, Itália, pós-doutorado em Corrosão pela Università degli Studi di Napoli "Federico II", Itália e pelo IPEN. Atualmente Professora Doutora na Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Departamento de Ciências Básicas e Ambientais. Atua na área de materiais, com ênfase em eletroquímica, revestimentos e corrosão.

<https://orcid.org/0000-0002-3771-5945>

<http://lattes.cnpq.br/0670006721310285>

celiatomachuk@usp.br



MISSÃO, VISÃO E VALORES

MISSÃO: Promover a qualificação técnica, o desenvolvimento tecnológico e o conhecimento em corrosão e proteção anticorrosiva, com atuação em treinamentos, certificações, eventos, elaboração de normas e recomendações técnicas, por meio da integração entre especialistas, empresas, entidades e universidades, contribuindo para que a sociedade possa garantir a integridade de ativos, proteger as pessoas e o meio ambiente dos efeitos da corrosão.

VISÃO: Manter a liderança nacional e ampliar sua projeção internacional como referência na difusão do conhecimento e na promoção da integridade de ativos, reunindo especialistas, empresas e instituições dedicadas à corrosão e à proteção anticorrosiva.

VALORES

Excelência Técnica e Científica: compromisso com a qualidade e rigor no desenvolvimento e disseminação do conhecimento em corrosão e proteção anticorrosiva;

Ética e Transparência: atuação íntegra e transparente em todas as relações e processos, promovendo a confiança entre associados, parceiros e sociedade;

Inovação e Sustentabilidade: busca contínua por soluções inovadoras que contribuam para a sustentabilidade e integridade dos ativos, protegendo o meio ambiente e a sociedade;

Colaboração e Pluralidade: valorização da diversidade de ideias e experiências, promovendo a união e o intercâmbio entre profissionais, empresas e instituições do setor;

Comprometimento com o Desenvolvimento Nacional: dedicação ao fortalecimento da indústria nacional por meio da capacitação, certificação e promoção de boas práticas em corrosão e proteção anticorrosiva.

ATIVIDADES

Cursos: Ministra cursos em sua própria sede, que conta com modernas instalações. Também são realizados cursos em parceria com importantes instituições nacionais de áreas afins e cursos In Company, sempre com instrutores altamente qualificados.

Eventos: Organiza periodicamente diversos eventos como: congressos, seminários, palestras, workshops e fóruns, com o objetivo de promover o intercâmbio de conhecimento e informação, além de compartilhar os principais avanços tecnológicos do setor.

Qualificação e Certificação: Mantém um programa de qualificação e certificação de profissionais da área de corrosão e técnicas anticorrosivas, por meio do seu Conselho de Certificação e do Bureau de Certificação.

CB-43: Coordena o CB-43 – Comitê Brasileiro de Corrosão, que abrange a corrosão de metais e suas ligas no que concerne à terminologia, requisitos, avaliação, classificação, métodos de ensaio e generalidade. O trabalho é desenvolvido desde 2000, após aprovação da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Comunicação: Utiliza canais de comunicação para informar ao mercado e à comunidade técnico-empresarial todas as novidades da área, conquistas da Associação, dos filiados e de parceiros, por meio de boletins eletrônicos, site, redes sociais e revista.

ASSOCIE-SE À ABRACO E APROVEITE SEUS BENEFÍCIOS:

Descontos em cursos e eventos técnicos

Descontos significativos nas aquisições de publicações na área de corrosão e proteção anticorrosiva

Descontos em anúncios na Revista Corrosão & Proteção

Recebimento de exemplares da Revista Corrosão & Proteção

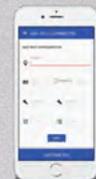
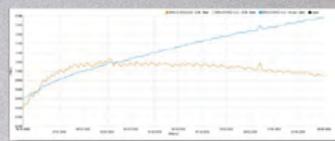
Inserção do perfil da empresa no site institucional da ABRACO

E MUITO MAIS! PARTICIPE DO DESENVOLVIMENTO DA ÁREA!

WebProCat

A **AUTOMA** apresenta o **WebProCat**, a plataforma SCADA para o gerenciamento remoto, centralizado e preditivo dos sistemas de proteção catódica.

- ✓ Monitoramento em tempo real
- ✓ Análise das taxas de corrosão
- ✓ Verificação de juntas isolantes
- ✓ Alarmes inteligentes e dashboard geolocalizado
- ✓ Controle remoto completo dos dispositivos



Mais eficiência. Menos riscos. Zero concessões.

www.byautoma.com | sales@byautoma.com



Anuncie na Revista Corrosão & Proteção

Um veículo que leva
seu anúncio ao alcance
de quem realmente tem
interesse na área.

INFORMAÇÕES:
marketing@abraco.org.br



Descarbonize as operações da sua empresa com o Aço Verde Aperam.

A primeira empresa do setor no mundo com balanço de carbono negativo nos escopos 1 e 2.

A Aperam é a única siderúrgica a produzir aços planos especiais com 100% de carvão vegetal como fonte de energia. O resultado desse processo é o Aço Verde Aperam: um material com baixa pegada de carbono e alta resistência para aplicações críticas do setor de Óleo e Gás.

Otimize as práticas de ESG da sua empresa com o Aço Verde Aperam: sustentável na origem, confiável no resultado.

BALANÇO DE CARBONO NEGATIVO

Na produção do Aço Verde, a Aperam remove mais CO₂ da atmosfera do que emite.



Produzido com energia limpa e 100% sustentável

aperam

ABRACO ABRE CONSULTA PÚBLICA PARA REVISÃO DE SUAS “RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS”

Participe da construção do conhecimento técnico nacional!

A ABRACO está revisando as suas Recomendações Práticas, um conjunto de documentos técnicos que funcionam como orientações de boas práticas (não normas obrigatórias) nas áreas de:

- Avaliação de corrosividade;
- Corrosão de armaduras de concreto;
- Pintura anticorrosiva;
- Proteção catódica;
- Revestimentos anticorrosivos.

O objetivo desses materiais é oferecer subsídios técnicos práticos e baseados em experiência, para auxiliar profissionais e empresas do

setor industrial brasileiro na interpretação e aplicação de soluções para problemas de corrosão que ainda não estão contemplados pelas normas voluntárias da ABNT ou por regulamentações corporativas.

São documentos reconhecidos por sua base experiente e realista, semelhantes aos guias de boas práticas usados por instituições técnicas em outros países.

Vale destacar que o uso dessas recomendações exige experiência técnica, a ABRACO alerta que a aplicação inadequada não é de sua responsabilidade.

Profissionais e empresas interessados em contribuir com sugestões ou comentários podem encaminhar suas contribuições para marketing@abraco.org.br até 8 de outubro de 2025.

MANUAL DE CORROSÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

A Gerdau, com apoio do IPT, acaba de lançar o Manual de Corrosão de Estruturas de Concreto, escrito pela pesquisadora Adriana de Araújo. Um material técnico completo, com fundamentação teórica e prática, que reúne experiências reais, análises técnicas realizadas em campo e laboratório, além de um acervo fotográfico exclusivo que ilustra diferentes situações observadas nas estruturas.

O manual é indicado para engenheiros, pesquisadores, estudantes e profissionais da construção civil que buscam aprofundar seus conhecimentos sobre durabilidade e desempenho de estruturas de concreto.

Baixe agora mesmo:

<https://voce.mais.gerdau.com.br/manual-corrosao-estruturas-de-concreto>



PARCERIA COM H&M HUBBER LEVA CURSO DE INSPETOR DE PINTURA INDUSTRIAL NÍVEL 1 AO PARANÁ

A Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) firmou uma importante parceria com a H&M Hubber, empresa com sede administrativa em Pinhais, no Paraná, para a realização do Curso para Qualificação de Inspetor de Pintura Industrial Nível 1. O treinamento acontecerá entre os dias 20 e 31 de outubro de 2025 e será a única turma prevista para o estado neste ano.

Organizado e promovido exclusivamente pela ABRACO, o curso contará com apoio e patrocínio da H&M Huber, que está contribuindo para viabilizar a realização desta capacitação no Paraná. Todas as inscrições e procedimentos são conduzidos diretamente pela ABRACO, por meio da página de cursos disponível em seu site oficial.

A formação terá aulas teóricas e práticas, preparando profissionais para atuar na inspeção e no controle da qualidade de revestimentos protetores aplicados em estruturas industriais. Trata-se de um conhecimento essencial para garantir a integridade de ativos, prevenir

falhas e combater a corrosão, fortalecendo a segurança e a durabilidade das instalações.



Para a ABRACO, levar essa qualificação ao Paraná é um passo importante para ampliar o acesso a treinamentos especializados no estado. “Agradecemos à H&M Hubber pelo apoio e por abrir caminhos para que possamos oferecer esta formação técnica a mais profissionais da região”, destaca a entidade.

O treinamento de Inspetor de Pintura Industrial Nível 1 promovido pela ABRACO é reconhecido nacional e internacionalmente, o que amplia as oportunidades no mercado de trabalho. Como esta será a única edição do curso no Paraná, em 2025, os interessados devem garantir sua vaga o quanto antes.

As inscrições já estão abertas e têm prazo limite para confirmação. Para participar, acesse: abraco.org.br/cursos.

PRÓXIMOS EVENTOS

2025

	LOCAL	DATA
7º Seminário de Corrosão Interna e Externa de Dutos e Equipamentos	RB 1 / RJ	26 de novembro
8º Workshop de Galvanização a Fogo – Experiências e aplicações	CREA / SP	11 de novembro

* Conta pontos no sistema de crédito estruturado.

2026

	LOCAL	DATA
11º SBPA - Seminário Brasileiro de Pintura Anticorrosiva	IPT / SP	14 de abril

ABRACO REFORÇA CAPACITAÇÃO EM PROTEÇÃO CATÓDICA ONSHORE NÍVEL 1 COM CURSO TEÓRICO E PRÁTICO

A ABRACO promoveu recentemente o curso de Proteção Catódica Onshore Nível 1, em formato híbrido, combinando aulas teóricas online e prática em campo.

O treinamento é fundamental para profissionais que atuam na prevenção da corrosão, oferecendo base teórica sólida e experiência prática essencial para garantir a integridade e a segurança de estruturas metálicas, como dutos de transporte de gás.

Embora a norma que orienta o curso não exija sua realização como pré-requisito para a certificação, através do Sistema Nacional de Qualificação e Certificação em Corrosão e Proteção (SNQC-CP), a participação é fortemente recomendada. O programa promove o compartilhamento de informações técnicas cruciais, alinhando teoria e prática para fortalecer a atuação profissional na área.

As aulas teóricas foram ministradas pelos instrutores Laerce Nunes (IEC Engenharia), João Klausing (Petrobras) e Antônio Caetano (IEC Engenharia), enquanto a prática em campo contou com o instrutor Alan Jefferson (IEC Engenharia) e suporte completo do Centro de Tecnologia em Dutos (CTDUT).

O curso reuniu profissionais de empresas de destaque no setor, incluindo:

- Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S.A (TBG)
- CPL Engenharia LTDA
- Companhia de Gás do Ceará (CEGAS)
- Transpetro – Petrobras Transporte S.A
- Fischer Proteção Catódica LTDA
- Companhia de Gás do Espírito Santo (ES GAS)
- EGD Engenharia LTDA

A participação dessas empresas evidencia a importância do treinamento e reforça a integração entre indústria e academia, fortalecendo a qualificação técnica necessária para a prevenção da corrosão.

Próxima turma

- Aula teórica online: 06 a 20 de outubro de 2025
- Aula prática presencial no CTDUT (RJ): 27 de outubro de 2025

A ABRACO agradece a todas as empresas e profissionais que contribuíram para esta edição, ressaltando que investir em conhecimento técnico e prático é essencial para a segurança e a confiabilidade das estruturas de transporte de gás no Brasil.

Para mais informações sobre cursos e treinamentos, acesse: <https://abraco.org.br>





Ezio de Santana Gomes: crescendo com os desafios

O inspetor de pintura Ezio de Santana Gomes fala com satisfação do bom desempenho obtido no Curso para Qualificação de Inspetor de Pintura Industrial nível 1, que fez na ABRACO: “Entrei no curso sem saber nada sobre pintura e alcancei a média de 9,7, atraindo a atenção de todos e, por consequência, vários convites para trabalho.”

Ezio sempre esteve aberto a desafios profissionais, e o primeiro, logo após sua formação, foi o convite da Deltac, em Minas Gerais, para inspecionar uma obra nova de costado e fundo de 13 tanques, na cidade de Vazante.

Depois desse trabalho bem-sucedido, vários outros surgiram. Rapidamente, Ezio encarou a proposta da OEC Odebrecht, que o levou a uma experiência enriquecedora: realizar a inspeção de 92 km de dutos da obra da Copasa que visava a canalização de água do Rio São Francisco, entre as cidades mineiras de Ibiaí e Montes Claros. Em seguida, voltou a prestar serviço para a Deltac, atuando como inspetor e supervisor da rotina de manutenção das estruturas e de equipamentos da mineradora de ouro Kinross, em Paracatu, também em Minas Gerais.

Já na Bahia, ao dedicar esforços na Refinaria Acelen e nas empresas Braskem e Dow, através

de um contrato com a Priner, Ezio concluiu o quanto valioso foi aquele período.

“Naquele trabalho pude maximizar meus conhecimentos, devido à diversidade de serviços com níveis de criticidade elevados. Porém, com muito esforço e foco, consegui executar tudo com qualidade e sair de lá com muito mais experiência.”

Fortalecendo esse histórico de quem abraça as boas oportunidades que a vida oferece, atualmente Ezio integra a equipe da empresa A Ideal, de Goiânia, pela qual presta serviço no Porto do Pecém, na cidade de São Gonçalo do Amarante, no Ceará. O inspetor, hoje com 34 anos de idade, está há cerca de dois anos em terras cearenses, onde atua como supervisor de proteção anticorrosiva de estruturas e de equipamentos onshore.

“Esta é a área mais elegante em que atuei, estou focado e dando o meu melhor. Minha equipe apresenta alta produtividade, com qualidade e segurança. E, com a graça de Deus, há mais de 600 dias não registramos acidentes”, declara o inspetor, com orgulho.

Contato: (71) 9130-0108

Jardeitre Inácio do Nascimento: com a cara e a coragem

A história do inspetor de pintura Jardeitre com a ABRACO começou em 2006, no Rio Grande do Norte, sua terra natal. À época, ele exercia a função de almoxarife, embarcado offshore, na área da Petrobras, onde conheceu muitos profissionais inspetores de pintura.

Atento às possibilidades de melhoria, Jardeitre pesquisou sobre a profissão – que ele identificou como a mais importante no processo da pintura anticorrosiva – e logo percebeu que ali estava a sua grande chance de crescimento, pois o mercado de trabalho estava carente deste profissional.

A admiração pela profissão e o desejo de evoluir profissionalmente foram as motivações para Jardeitre tomar a sábia decisão de se matricular na ABRACO.

“Em 2010 decidi fazer o curso de Inspetor de Pintura na ABRACO. Fui com a cara e a coragem! Não foi fácil, pois eu não tinha conhecimento sobre pintura industrial. Sofri algumas reprovações, mas não desisti; continuei focado e determinado em alcançar meu objetivo.”

Jardeitre enfatiza que a realização do curso na ABRACO lhe propiciou a tão sonhada mudança de vida.

“Os estudos na ABRACO, orientados por instrutores, professores e examinadores de referência, me permitiram adquirir conhecimentos que eu nunca imaginei. Assim que me formei, ingressei na área de inspeção da Petrobras e adquiri mais conhecimento prático.”

Segundo o profissional, isso representou um passo importante rumo à certificação no registro do SNQC-CP e, consequentemente, boas oportunidades no mercado de trabalho: *“Há mais de 15 anos trabalho na inspeção, conheci várias regiões do Brasil e fiz parte de projetos grandiosos. Em cada um, uma nova experiência e muito conhecimento, pois a pintura industrial é dinâmica, é aprendizado constante.”*



O inspetor de pintura industrial está sempre investindo em seu aperfeiçoamento, participando de treinamentos e cursos na ABRACO, como atualização das normas, conduta ética e conversão ABRACO/ICorr. Atualmente está em processo de qualificação de Inspetor de Pintura nível 2.

Casado e com três filhos, hoje Jardeitre trabalha em um projeto no Pará e gosta de estar presente nas redes sociais visando promover e fortalecer sua categoria profissional. Em 2021, criou o grupo “Inspetores de Pintura Brasil”, no WhatsApp, reunindo 455 especialistas de todo o país.

No LinkedIn, já soma mais de 1.280 seguidores, com os quais compartilha seus trabalhos de inspeção. E no YouTube mantém o canal “Jardeitre Inspeções & Informática”, no qual publica tutoriais e outros vídeos divulgando atividades da profissão para os seus quase 3 mil inscritos.

Contato: (84) 9974-8221



EMPRESAS E ENTIDADES ASSOCIADAS

A IDEAL SOLUÇÕES ANTICORROSIVAS EIRELI ME
www.aideal.com.br/site/

ADVANCE TINTAS E VERNIZES LTDA.
www.advancetintas.com.br

AKZO NOBEL LTDA - DIVISÃO COATINGS
www.akzonobel.com/international

APERAM SOUTH AMERICA
www.aperam.com/pt-br/

BBOSCH GALVANIZAÇÃO DO BRASIL LTDA.
www.bbosch.com.br

CENTRO DE TECNOLOGIA EM DUTOS
www.ctdut.org.br

COVESTRO INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE POLÍMEROS LTDA.
www.covestro.com

CPL ENGENHARIA LTDA.
www.cplengenharia.com.br

DE NORA DO BRASIL LTDA.
www.denora.com

DEEPWATER
www.stoprust.com

G P NÍQUEL DURO LTDA.
www.grupogp.com.br

HITA COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA.
www.hita.com.br

HKM METAIS LTDA.
www.hkmmetais.ind.br

IEC INSTALAÇÕES E ENG^a DE CORROSÃO LTDA.
www.iecengenharia.com.br

INSTITUTO BRAS. DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS – IBP
www.ibp.org.br

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT
www.ipt.br

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA – INT
www.int.gov.br

JOTUN BRASIL IMP. EXP. E IND. DE TINTAS LTDA.
www.jotun.com

LGE COMERCIO E SERVIÇOS LTDA.
www.lgeserv.com.br

METAL SALES COMÉRCIO E INDÚSTRIA DE METAIS LTDA.
www.metalsales.ind.br

PETROBRAS - PETRÓLEO BRASILEIRO S/A
www.petrobras.com.br

PPL MANUTENCAO E SERVIÇOS LTDA.
www.pplmanutencao.com.br

PRESSERV DO BRASIL LTDA.
<https://presserv.com/brazil/>

PROMAR TRATAMENTO ANTICORROSIVO LTDA.
www.promarpintura.com.br

REFRAMAX ENGENHARIA LTDA.
www.reframax.com.br

RENNER COATINGS
www.rennercoatings.com

RJR SERVIÇOS E LOCAÇÕES
www.gruposervjato.com.br

SACOR SIDEROTÉCNICA S/A
www.sacor.com.br

SHERWIN-WILLIAMS DO BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO LTDA.
www.https://sherwin.com.br/

SMARTCOAT - ENGENHARIA EM REVESTIMENTOS LTDA.
www.smartcoat.com.br

TBG - TRANSP. BRAS. GASODUTO BOLÍVIA – BRASIL
www.tbg.com.br

TECHNIQUES SURFACES DO BRASIL LTDA.
www.tsbrasil.srv.br

TECNOFINK LTDA.
www.tecnofink.com

TINÓCO ANTICORROSÃO LTDA.
www.tinocoanticorrosao.com.br

TRANSPETRO - PETROBRAS TRANSPORTE S/A
www.transpetro.com.br

WEG TINTAS LTDA.
www.weg.net

ZERUST PREVENÇÃO DE CORROSÃO LTDA.
www.zerust.com.br

ZINCOLIGAS INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.
www.zincoligas.com.br

ZINGA METALL BRASIL COMÉRCIO DE PRODUTOS E SERVIÇOS PARA
CORROSÃO LTDA.
www.zingabr.com



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO

Av. Venezuela, 27 • Sl. 412/418 • Centro • Rio de Janeiro • CEP 20081-311

(21) 2516-1962 • www.abraco.org.br

Facebook: facebook.com/abraco.oficial

LinkedIn: linkedin.com/in/abraco

Instagram: [@abraco_br](https://instagram.com/abraco_br)

Youtube: Associação Brasileira de Corrosão

SETORES

Associados: secretaria@abraco.org.br

CB-43: cb43@abraco.org.br

Comunicação: marketing@abraco.org.br

Eventos: eventos@abraco.org.br

Financeiro: financeiro@abraco.org.br

Qualificação e Certificação: qualificacao@abraco.org.br

Treinamentos: cursos@abraco.org.br