

Corrosão & Proteção

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

Ano 19 | nº 77 | mai/jun/jul/ago 2022


ABRACO
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO

Proteção em foco

A importância do conhecimento
no combate à corrosão



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 2023/2025

Presidente

Neusvaldo Lira de Almeida

Vice-presidente

Luiz Paulo Gomes

Diretores

Carlos Aparecido da Silva

Adaauto Riva

Roberto Bamenga Guida

Francisco Muller Filho

Roberto Newton Perantunes

Conselho Editorial

Caroline Sousa – ABRACO

Laerce de Paula Nunes – IEC

REVISTA CORROSÃO & 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.



Expediente

Nesta edição

- 03** Editorial
- 06** GRANDES NOMES DA CORROSSÃO
Entidades propulsoras do conhecimento em corrosão e proteção anticorrosiva
- 08** ARTIGO TÉCNICO
Proteção catódica e suas normas técnicas
Luiz Paulo Gomes
- 18** ARTIGO TÉCNICO
Revestimentos com base no metal zinco
Christian Canales e Ricardo Suplicy Goes
- 24** ARTIGO CIENTÍFICO
Metodologia de avaliação da resistência à corrosão de aços eletro galvanizados submetidos a ensaios com altas concentrações de íons cloreto
Egnalda Pereira da Silva Pimenta, Rogério Augusto Carneiro, Arlindo Lopes Faria
- 34** ARTIGO CIENTÍFICO
Corrosão em dutos Flexíveis
Fabricio Pinheiro dos Santos - CENPES-Petrobras; Ilson Palmieri Baptista - CENPES-Petrobras; Merlin Cristina Elaine Bandeira - UFRJ-LNDC COPPE; Felipe Assunção - UFRJ-LNDC COPPE
- 42** LatinCorr & InterCorr 2023
Aliança fortalecida pela inovação na proteção contra corrosão
- 48** 55 anos na liderança da prevenção e controle da corrosão
- 50** Em meio às celebrações por seus 55 anos, nossa Associação lança nova marca
- 52** A 6ª edição do Workshop de Galvanização: Experiências e Aplicações foi um sucesso!
- 58** Empresas associadas

Conhecimento gera desenvolvimento e qualidade de vida

O nível de conhecimento está diretamente relacionado ao desenvolvimento e a qualidade de vida dos povos, assim temos, por exemplo, nos países desenvolvidos elevado desenvolvimento socioeconômico e grande desenvolvimento do conhecimento.

As grandes conquistas em termos de aplicação do conhecimento tiveram sempre como base o investimento em inovação. O que torna um país referência em termos de inovação é justamente a aplicação de recursos humanos e de investimento em pesquisa e desenvolvimento.

Há uma relação direta entre conhecimento e educação no mundo de hoje, até porque de modo geral a geração de conhecimento ocorre nas universidades, ao mesmo tempo que são passados os conteúdos aos estudantes ou ainda em instituições de pesquisas com grande vinculação com o desenvolvimento do conhecimento em projetos de pós-graduação.

Nas empresas, a gestão do conhecimento se torna, cada vez mais, um diferencial de sucesso em ambientes empresariais competitivos. Sob a perspectiva estratégica, é um processo pelo qual a organização mantém ou melhora o seu desempenho, baseada em experiência e conhecimento.

É importante lembrar que o sucesso de uma organização, independentemente de seu porte ou ramo de atuação, está vinculado à prática de transformar seu conhecimento em resultados reais e efetivos. Mas, para isso, é preciso criar uma cultura no ambiente corporativo, para incorporar o conhecimento na rotina de todos os departamentos, evitando falhas de comunicação ou a perda de dados relevantes.

O conceito de gestão do conhecimento surgiu com era digital e como parte do que foi denominado de quarta revolução industrial, no início da década de 1990, definido não mais como eficiência operacional, mas como uma atividade estratégica das organizações.

O primeiro passo consiste em fazer um planejamento estratégico. Isso é possível a partir da análise das metas da organização para, a partir daí, decidir quais são as atitudes, habilidades e conhecimentos que os colaboradores precisam ter ou desenvolver.

O segundo passo, trata de organizar os dados e informações dentro da empresa. Assim, o conhecimento flui entre os setores e pode ser encontrado com facilidade por quem necessitar dele.

A ABRACO se insere neste contexto exatamente através da sua missão: difundir e desenvolver o conhecimento da corrosão e da proteção anticorrosiva, congregando Empresas, Entidades e Especialistas e contribuindo para que a sociedade possa assegurar a integridade de ativos, proteger as pessoas e o meio ambiente dos efeitos da corrosão.

Para que esta missão seja cumprida, a Associação congrega especialistas, centros de pesquisas, universidades e empresas devotadas ao estudo e ao combate da corrosão, realizando cursos, eventos, reuniões técnicas, fóruns de discussão, dentre outras iniciativas.

Dentro deste propósito os cursos e os eventos assumem papel fundamental na atuação da ABRACO, desde cursos específicos e eventos setoriais até cursos de qualificação e eventos de grande porte como o Congresso Mundial de Corrosão, o LatinCorr e o InterCorr.

Temos, portanto absoluta certeza da importância da ABRACO como difusora do conhecimento da corrosão e das práticas de proteção anticorrosiva.

Neste número da revista Corrosão e Proteção estamos evidenciando a importância da Pesquisa e do Desenvolvimento. Sentimo-nos muito honrados em participar de todo este esforço tecnológico e de seus benefícios para a sociedade brasileira.

Neusvaldo Lira de Almeida

Presidente da ABRACO



OxiPranaQuímica
Líder no Mercado de Galvanização a Fogo

Produtos para Pré-tratamento de Superfície Metálicas
para os segmentos:

INDÚSTRIAS METALÚRGICAS	GALVANIZAÇÃO A FOGO
• DESENGRAXANTES • INIBIDORES DE CORROSÃO, • DECAPANTE NEUTRO • TODA LINHA FOSFATOS E NANO CERÂMICA, • ÓLEOS DE ESTAMPAGEM MINERAL E VEGETAL (QUE NÃO NECESSITA DE DESENGRAXE)	• DESENGRAXANTES • INIBIDORES DE CORROSÃO • FLUXO E PASSIVADORES

www.oxiprana.com.br
Instituto do Zinco: www.icz.org.br
Fone comercial: (11) 94188-9672
E-mail: comercial@oxiprana.com.br

MATRIZ:
Bagre, 768 - Prazeres - Jaboatão dos Guararapes PE
FILIAL: Itupeva - SP
Helena Pellizzari Lorençon, 727 - Santa Júlia (Eco Park Empresarial)

**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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO

MISSÃO

Difundir e desenvolver o conhecimento da corrosão e da proteção anticorrosiva, congregando empresas, entidades e especialistas e contribuindo para que a sociedade possa garantir a integridade de ativos, proteger as pessoas e o meio ambiente dos efeitos da corrosão.

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.

BIBLIOTECA: Possui uma Biblioteca especializada nos temas corrosão, proteção anticorrosiva e assuntos correlatos. O acervo é composto por livros, periódicos, normas técnicas, trabalhos técnicos, anais de eventos e fotografias da ação corrosiva.

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

Pesquisas bibliográficas gratuitas na Biblioteca da ABRACO

Inserção do perfil da empresa no site institucional da ABRACO

E MUITO MAIS! PARTICIPE DO DESENVOLVIMENTO DA ÁREA!

GRANDES NOMES DA CORROSÃO

Entidades propulsoras do conhecimento em corrosão e proteção anticorrosiva

Por Laerce de Paula Nunes e Aldo Cordeiro Dutra (in memoriam)

Pesquisa e desenvolvimento aplicados à corrosão

A ABRACO é uma entidade propulsora do conhecimento, porém ela não executa esta atividade sozinha, apenas potencializa através das diversas entidades que realizam pesquisas e desenvolvimentos no Brasil

Há uma alguma diferença entre as abordagens destes três grupos de entidades: os institutos desenvolvem principalmente estudos e pesquisas de interesse da sociedade em âmbito da aplicação mais imediata nas melhorias da qualidade, as universidades, por sua vez, em geral desenvolvem pesquisas acopladas aos programas de pós-graduação também de interesse da sociedade, porém de aplicação nem sempre imediata e sim dependente do desenvolvimento de outros conhecimentos para então serem utilizados e finalmente os centros de pesquisas das empresas que desenvolvem projetos de pesquisas aplicados aos seus ramos de negócio.



No Brasil todas estas entidades possuem grupos de pesquisas e desenvolvimentos na área de corrosão e proteção anticorrosiva, cabendo destacar como exemplos:

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT – Tem um importante grupo de pesquisadores envolvidos com os estudos da corrosão, situado na Cidade Universitária da Universidade de São Paulo presta serviços para todo o Brasil, publicando anualmente um vastíssimo número de trabalhos técnicos sobre corrosão e proteção anticorrosiva.

Instituto Nacional de Tecnologia – INT – tem também um importante grupo de pesquisadores envolvidos com os estudos da corrosão, situado na Cidade do Rio de Janeiro emprestando grande contribuição ao desenvolvimento da corrosão e da proteção anticorrosiva, com importantes contribuições técnicas.

Universidades – especialmente as públicas (federais e estaduais) desenvolvem trabalhos de pesquisas nas mais diversas áreas da corrosão e encontram nos congressos da ABRACO uma oportunidade de publicar os seus estudos.

Centro de pesquisas de empresas – Merecem destaque o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobrás (CENPES) e o Centro de Pesquisas da Eletrobrás (CEPEL), que embora sejam voltados para os interesses das empresas, também contribuem com excelentes trabalhos para a comunidade de corrosão.

Os trabalhos técnicos desenvolvidos por estas entidades são, em geral, apresentados no congresso anual de corrosão, especialmente, no InterCorr.

Estas entidades têm proporcionado à ABRACO a oportunidade de desempenhar de forma muito expressiva a sua atividade como fomentadora do conhecimento da corrosão e da proteção anticorrosiva em nosso país, portanto, os vemos como extraordinários parceiros e grandes aliados em todo este processo.

Homenagem em memória do Dr. Aldo Cordeiro Dutra e do Professor Manoel Nascimento

O ano de 2022 e 2023 ficará marcado na história da Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) como um período de luto e, ao mesmo tempo, de reconhecimento à trajetória brilhante de dois grandes nomes na comunidade corrosionista e de proteção anticorrosiva.

Nesta edição de dezembro da Revista Corrosão e Proteção, prestamos uma última homenagem ao Dr. Aldo Cordeiro Dutra, que nos deixou em 2022, e ao Instrutor da ABRACO, Manoel Nascimento, que faleceu em 2023, cujas contribuições imensuráveis deixaram uma marca indelével na comunidade de pintura industrial.

O Dr. Aldo Cordeiro Dutra e o Professor Manoel Nascimento deixam um vazio inestimável na comunidade de corrosão e proteção anticorrosiva, mas seu legado perdurará através das gerações, inspirando futuros profissionais e empresas a continuarem a busca por soluções eficazes na prevenção da corrosão e na proteção anticorrosiva.

Este é um tributo à memória desses dois grandes nomes que iluminaram nosso caminho na constante batalha contra a corrosão e na busca pela excelência em pintura anticorrosiva e proteção anticorrosiva. Eles serão lembrados com respeito e gratidão por todos aqueles que tiveram a honra de cruzar seus caminhos e aprender com suas expertises.



PROTEÇÃO CATÓDICA E SUAS NORMAS TÉCNICAS

Luiz Paulo Gomes

Diretor / Empresa: IEC-Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda.
LPgomes@iecengenharia.com.br

Introdução

A proteção catódica é uma tecnologia fantástica, de vital importância para o mundo moderno, uma vez que permite garantir a proteção contra a corrosão e a integridade de instalações de aço que precisam operar enterradas, submersas ou embutidas no concreto, como os oleodutos, gasodutos, alcooldutos, minerodutos, polidutos, adutoras, tanques de armazenamento, plataformas de petróleo, navios, embarcações, estacas de píeres de atracação de navios e armaduras de estruturas de concreto de pontes, instalações portuárias e edificações de um modo geral, em especial as construídas nas proximidades do mar.

Como sabemos, os sistemas de proteção catódica precisam ser inspecionados regularmente e mantidos em operação normal ao longo dos anos e para tanto as normas técnicas e as práticas recomendadas brasileiras e internacionais desempenham um papel de fundamental importância.

Nesse artigo mostramos um resumo prático e objetivo sobre as soluções de proteção catódica mais indicadas e as normas técnicas recomendadas

para cada situação em particular, lembrando que, para a obtenção dos resultados esperados, cada sistema precisa ser cuidadosamente projetado e corretamente instalado, sempre com a ajuda de uma criteriosa análise técnica/econômica.

Principais Aplicações dos Sistemas de Proteção Catódica

Os sistemas de proteção catódica são necessários e sempre utilizados para a proteção contra a corrosão de diversas instalações importantes, destacando-se as seguintes:

- 1) Plataformas de petróleo, fixas ou flutuantes, incluindo as instalações no fundo do mar.
- 2) Navios e embarcações, de pequeno, médio e grande porte.
- 3) Estacas de aço de píeres de atracação de navios.
- 4) Torres eólicas no mar.
- 5) Tanques de armazenamento de petróleo, derivados, água, gás e produtos diversos, construídos com base apoiada, enterrados ou submersos.

- 6) Tanques de tratamento de água, esgoto ou efluentes.
- 7) Tubulações de aço enterradas ou submersas.
- 8) Tubulações de aço enterradas influenciadas por correntes de fuga de sistemas de tração eletrificada (trens, metros e VLTs).
- 9) Tubulações de aço enterradas influenciadas por correntes de fuga de outros sistemas de proteção catódica.
- 10) Tubulações de aço enterradas influenciadas por linhas de transmissão elétrica em alta tensão.
- 11) Tubulações enterradas em plantas industriais, como as redes de combate a incêndio e as linhas de gás, efluentes, água de refrigeração e produtos diversos.
- 12) Armaduras de aço de estruturas de concreto de um modo geral, em especial as contaminadas por cloretos e/ou CO₂.

Proteção Catódica de Plataformas de Petróleo

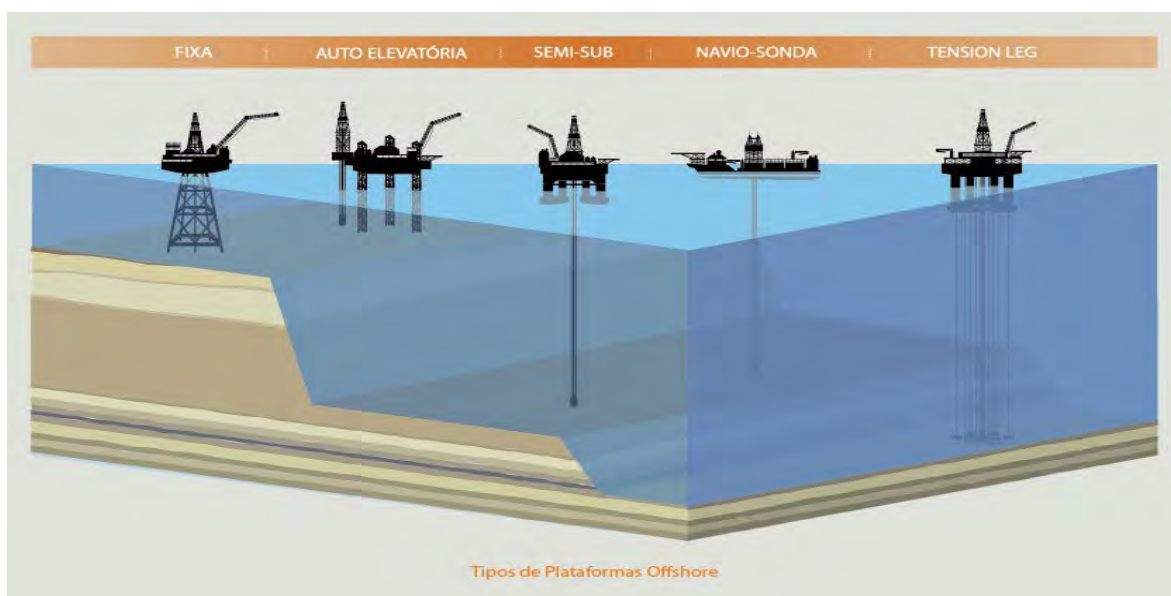


Fig. 01 – As plataformas de petróleo podem ser do tipo fixas (pequenas profundidades) ou flutuantes (grandes profundidades).

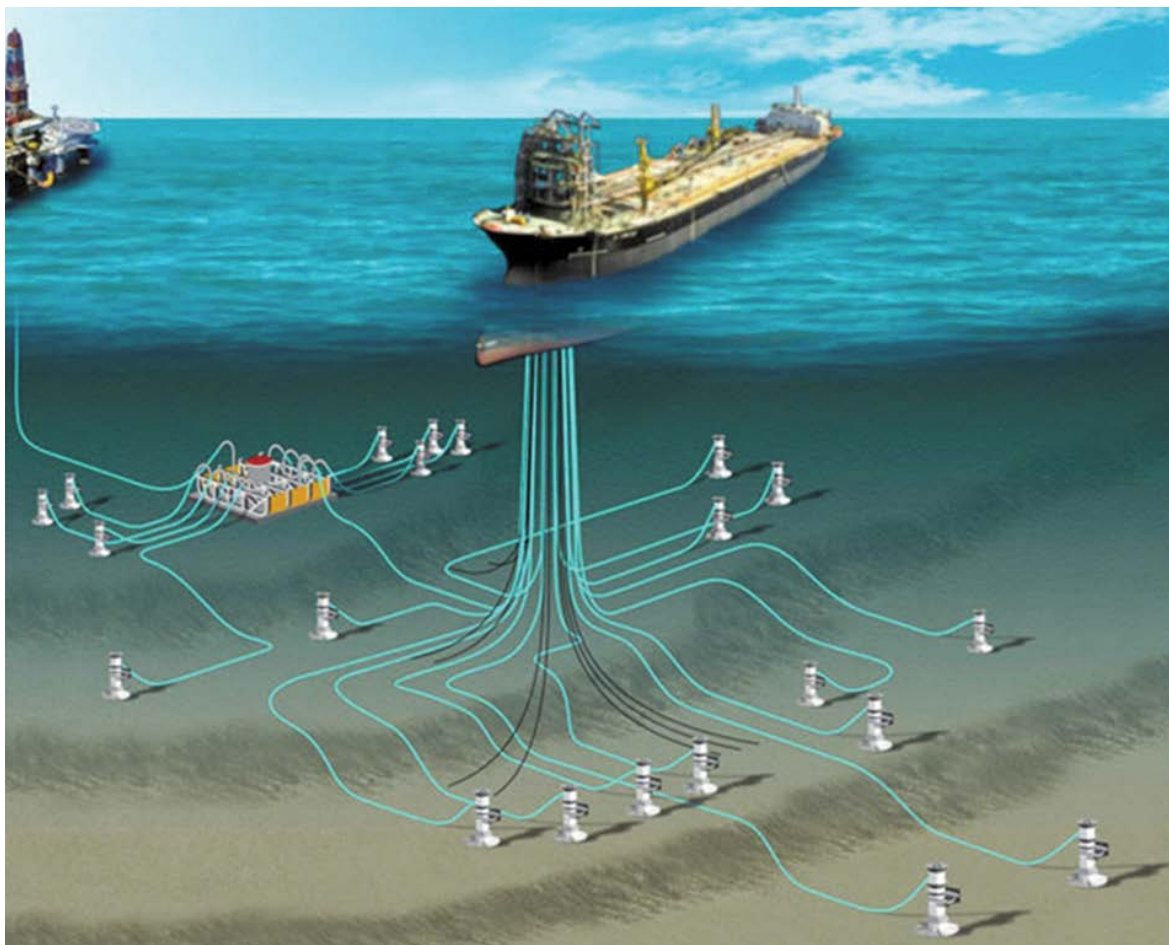
Fig. 02 – Para as plataformas fixas, os sistemas de proteção catódica mais indicados são os galvânicos, com a utilização de anodos de liga de Alumínio, fabricados de acordo com a Norma ABNT NBR 10387 (Anodo de Liga de Alumínio para Proteção Catódica). Quando os anodos chegam ao final de sua vida útil eles podem ser substituídos por novos anodos galvânicos ou por sistemas do tipo por corrente impressa, de acordo com as Recomendações Práticas DNV-RP-B101 (Corrosion Protection of Floating Production and Storage Units) e DNV-RP-B401 (Cathodic Protection Design).





Fig. 03 - As plataformas flutuantes, incluindo as FPSOs (Floating Production Storage and Offloading), são protegidas por sistemas de proteção catódica do tipo por corrente impressa, conforme DNV-RP-B101 e DNV-RP-B401, sendo que a proteção interna dos tanques pode ser feita com anodos galvânicos de Alumínio (ABNT NBR 10387) ou Zinco (ABNT NBR 9358).

Fig. 04 - As Instalações no fundo do mar são protegidas com anodos galvânicos de Alumínio (ABNT NBR 10387).



Proteção Catódica de Navios e Embarcações



Fig. 05 – Os navios e embarcações de pequeno porte são protegidos com sistemas galvânicos, com a utilização de anodos de Zinco (ABNT NBR 9358) ou de Alumínio (ABNT NBR 10387), conforme exigências da ABNT NBR 7415 (Proteção Catódica de Embarcações Durante a Construção). Nas proximidades do hélice e do leme há necessidade da previsão de uma maior concentração de anodos, devido às condições adversas desses locais (par galvânico aço/cobre e grande agitação da água).

Fig. 06 – Os navios de grande porte são protegidos com o auxílio de sistemas de proteção catódica por corrente impressa, com a utilização de um ou mais retificadores automáticos, anodos inertes e eletrodos permanentes de referência fixados no casco, conforme ABNT NBR 7415, DNV-RP-B101 e DNV-RP-B401.

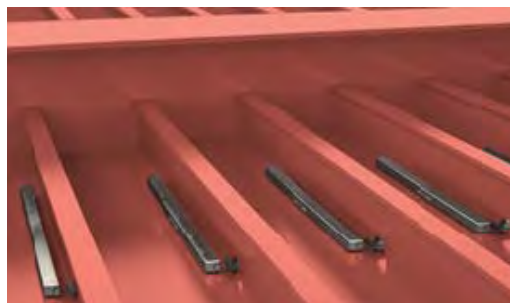
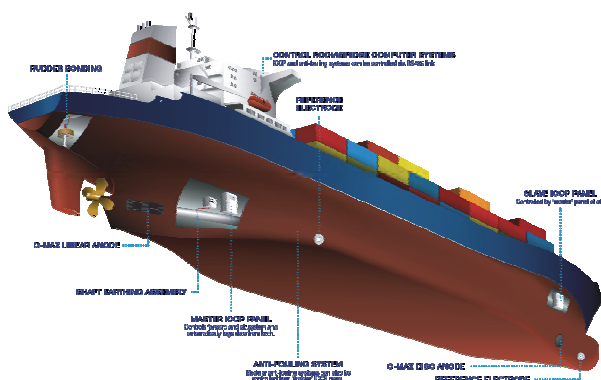


Fig. 07 – A proteção interna de tanques de navios e embarcações pode ser feita com anodos de Alumínio (ABNT NBR 10387) ou Zinco (ABNT NBR 9358). Para os tanques de lastro utiliza-se a ABNT NBR 7404.

Proteção Catódica de Estacas de Aço de Pieres de Atracação de Navios



Fig. 07 – As estacas de aço de pieres de atracação de navios podem ser protegidas com anodos galvânicos de Alumínio (ABNT NBR 10387) ou por sistemas por corrente impressa, com o auxílio de um ou mais retificadores de corrente e anodos inertes instalados nas estacas com o auxílio de dispositivo especiais de fixação (DNV-RP-B401).

Proteção Catódica de Torres Eólicas no Mar



Fig. 08 – As fundações das torres eólicas instaladas no mar são protegidas com o auxílio de anodos galvânicos de liga de Alumínio (ABNT NBR 10387).



Proteção Catódica de Tanques de Armazenamento de Petróleo, Derivados, Álcool, Água Potável, Água Industrial e Outros Produtos



Fig. 09 – Para proteger a parte externa de fundos de tanques com base apoiada utilizamos os sistemas de proteção por corrente impressa, conforme ABNT NBR 17061 (Proteção Catódica Interna e Externa de Tanques de Armazenamento) e API RP 651 (Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks). Os tanques de armazenamento de petróleo possuem um lastro de água salgada em seu interior e precisam ser protegidos com anodos galvânicos de Alumino ou Zinco. Os tanques de derivados de petróleo, quando possuem água em seu interior, também precisam ser protegidos com anodos galvânicos. Os tanques de água potável ou industrial são protegidos com o auxílio de sistemas por corrente impressa, conforme ABNT NBR 17061.



Fig. 10 – Os tanques enterrados podem ser protegidos com anodos galvânicos de liga de Magnésio (ABNT NBR 16460) ou com sistemas por corrente impressa, conforme ABNT NBR 17061 e API RP 1632 (Cathodic Protection of Underground Petroleum Storage Tanks and Piping Systems).

Proteção Catódica de Tanques de Tratamento de Água, Esgoto e Efluentes



Fig. 11 - Os tanques de tratamento de água, esgoto e efluentes podem ser protegidos com o auxílio de anodos galvânicos de Zinco (ABNT NBR 9358) ou Magnésio (ABNT NBR 16460).

Proteção Catódica de Tubulações de Aço Enterradas ou Submersas



Fig. 12 - Os dutos enterrados são protegidos por sistemas de proteção catódica por corrente impressa, de acordo com a ABNT NBR ISO15589-1 (Proteção Catódica de Dutos Terrestres). Já as tubulações submersas no mar são protegidas com anodos galvânicos de Alumínio (ABNT NBR 10387) do tipo abraçadeira ou bracelete.

Proteção Catódica de Tubulações Enterradas Influenciadas por Correntes de Fuga de Sistemas de Tração Eletrificada



Fig. 13 – Quando tubulações metálicas enterradas cruzam ou se aproximam de linhas férreas eletrificadas (trens, metros e VLTs) aparecem problemas bastante graves de corrosão por correntes de fuga, havendo necessidade de um estudo detalhado e cuidados para o dimensionamento, instalação, inspeção e manutenção do seu sistema de proteção catódica. Nesses casos e nos casos de interferência elétrica entre sistemas de proteção catódica, as normas ABNT NBR ISO15589-1 (Proteção Catódica de Dutos Terrestres) e ABNT NBR ISO16563-2 (Mitigação de Efeitos de Interferências Elétricas em Sistemas Dutoviários Causados por Sistemas por Corrente Contínua) devem ser sempre utilizadas.

Proteção Catódica de Tubulações Enterradas Influenciadas por Linhas de Transmissão Elétrica em Alta Tensão



Fig. 14 – Quando tubulações metálicas enterradas cruzam ou se aproximam de linhas de transmissão elétrica em alta tensão aparecem problemas importantes de segurança das pessoas (tensões tubo/solo elevadas) e de corrosão por corrente alternada (corrosão AC), havendo necessidade de um estudo detalhado e cuidados para o dimensionamento, instalação, inspeção e manutenção do seu sistema de proteção catódica. Nesses casos as normas a serem atendidas são a ABNT NBR ISO15589-1 (Proteção Catódica de Dutos Terrestres) e a ABNT NBR ISO16563-1 (Mitigação de Efeitos de Interferências Elétricas em Sistemas Dutoviários Causados por Sistemas por Corrente Alternada).

Proteção Catódica de Tubulações Enterradas em Plantas Industriais



Fig. 15 – Tubulações enterradas em plantas industriais, como a redes de combate a incêndio, água de refrigeração, gás e outros produtos, estão sujeitas a problemas graves de corrosão devido, principalmente, à presença da malha de aterramento elétrico (par galvânico aço/cobre) e de correntes de interferência, necessitando sempre de um sistema de proteção catódica por corrente impressa, que nesses casos deve ser implantado em conformidade com a ABNT NBR 16896 (Proteção Catódica de Instalações Complexas).

Proteção Catódica de Armaduras de Estruturas de Concreto



Fig. 16 – Armaduras de aço de estruturas de concreto, em especial quando contaminadas por cloretos e/ou CO₂, sofrem sérios problemas de corrosão que somente podem ser totalmente eliminados com a instalação de anodos de proteção catódica, do tipo galvânico ou por corrente impressa, de acordo com a ISO12696 (Cathodic Protection of Steel in Concrete), NACE SP0290 (Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures) e NACE SP0408 (Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Buried or Submerged Concrete Structures). As medições dos potenciais armadura/concreto e o consequente diagnóstico das regiões com maior ou menor probabilidade de corrosão, devem ser feitos de acordo com a ASTM C876 (Standard Test Method for Corrosion Potentials Uncoated Reinforced Steel in Concrete).

Conclusões

O aço carbono é um material com propriedades excelentes e custo muito atraente, razão pela qual é largamente utilizado nas obras de engenharia de um modo geral, não sendo exagero afirmar que o mundo é feito de aço.

Para proteger o aço contra a corrosão, quando enterrado, submerso ou embutido no concreto, utilizamos os sistemas de proteção catódica, do tipo galvânico ou por corrente impressa, e as normas técnicas nacionais ou internacionais são de uso obrigatório para a garantia de obtenção de resultados confiáveis.

Nesse artigo citamos apenas algumas normas e recomendações práticas de proteção catódica publicadas pela ABNT, ISO, NACE, API e ASTM, sendo que existe uma série de outros documentos técnicos importantes sobre o tema, tanto nacionais quanto internacionais, incluindo as

normas PETROBRAS e as práticas recomendadas da ABRACO (Associação Brasileira de Corrosão), IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto e ALCONPAT (Associação Brasileira de Patologia das Construções).

Importante destacar que as soluções de proteção catódica aqui apresentadas são apenas orientativas e que a escolha do sistema mais indicado para cada situação em particular precisa ser feita mediante um levantamento cuidadoso das características das instalações a proteger, medições de campo detalhadas e criteriosa análise técnico/econômica.

O autor

Luiz Paulo Gomes (LPgomes@iecengenharia.com.br) é diretor da IEC-Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda., vice-presidente da ABRACO (2023/2024), coordenador do SC07 IBRACON/ALCONPAT- (Proteção Catódica de Armaduras de Estruturas de Concreto) e autor dos livros Proteção Catódica e Sistemas de Proteção Catódica.

REVESTIMENTOS COM BASE NO METAL ZINCO

Christian Canales* e Ricardo Suplicy Goes*

*bbosch Galvanização do Brasil | ** ICZ – Instituto da Cadeia do Zinco
contato@icz.org.br

Definições:

Aço

Liga metálica de base ferro e carbono, é a mais utilizada e mais reciclada do planeta, 40 % é feita de sucata.

Corrosão

Tendência espontânea do metal produzido de reverter a seu estado de mais baixa energia.

Deterioração de propriedades que ocorre quando um metal reage com o ambiente.

Categorias de Corrosividade

A Norma Técnica ABNT NBR 14.643 - Corrosão atmosférica - Classificação da corrosividade de atmosferas.

Em todas as categorias, o aço tem uma velocidade de corrosão superior à do zinco, conforme ilustrado abaixo na tabela da norma.

Resumo

O metal zinco, pelas suas propriedades, é utilizado, como revestimento em vários processos de proteção contra a corrosão do aço-carbono. Este artigo abrange as características de cada um, visando subsidiar o leitor de embasamento técnico na escolha adequada do melhor revestimento de zinco para o aumento da vida útil do aço conforme a categoria de corrosividade do ambiente.

Categoria de Corrosividade	Característica	Taxa de Corrosão Aço ($\mu\text{m/ano}$)	Taxa de corrosão Zinco ($\mu\text{m/ano}$)
C1	Interior: Seco	$V \leq 0,1$	$V \leq 0,05$
C2	Interior: condensação ocasional Exterior: Rural	$0,1 < V \leq 1,5$	$0,05 < V \leq 0,5$
C3	Interior: Alta umidade, pouca poluição Exterior: Costa urbana	$1,5 < V \leq 6$	$0,5 < V \leq 2$
C4	Interior: Piscinas, plantas químicas Exterior: Industrial, costa urbana	$6 < V \leq 20$	$2 < V \leq 4$
C5	Exterior: Industrial com alta umidade	$20 < V \leq 90$	$4 < V \leq 10$

Zinco

É parte integral do meio ambiente, presente em rochas, no solo, na água e no ar. Os revestimentos de zinco aumentam significativamente a durabilidade dos produtos de aço. O zinco é 100 % reciclável.

Galvanização eletrolítica.

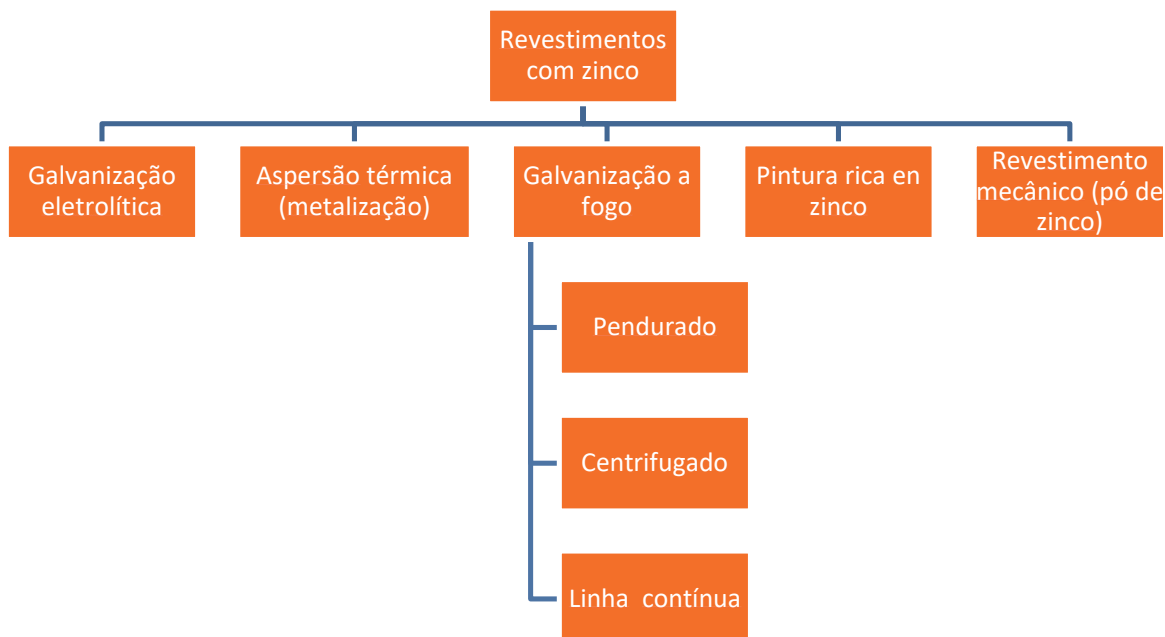
O processo consiste na deposição do zinco através de passagem de corrente elétrica, dividindo a corrente em positiva (cátodo) e negativa (ânodo). O zinco é colocado junto ao ânodo e por meio do banho (eletrólito) e será

conduzido até o cátodo, onde está o material a ser revestido, sendo depositado na sua superfície. O tempo de imersão irá variar conforme o tipo de banho, a geometria do material e a espessura de camada desejada.

Características

- excelente aparência e acabamento superficial;
- espessura do revestimento entre 5 μm y 20 μm ;
- não é um processo de difusão;
- não forma fases metalúrgicas ferro-zinco;

Revestimentos com base de zinco



- a parte interna das tubulações não fica protegida;
- limitado a peças de geometria simples;
- peças que estejam expostas a ambientes de baixa agressividade, por ser camada de baixa espessura.

Aspersão térmica (metalização)

O processo consiste em aquecer o fio de zinco através de uma fonte de calor de maneira de transformá-lo em partículas que são arremessadas contra a superfície da peça a proteger. No choque, as partículas achatam-se e aderem à superfície. Partículas depositadas posteriormente comportam-se da mesma maneira, originando um revestimento tipo lamelar. O processo requer: compressor de ar, acumulador de ar, acetileno, oxigênio, reguladores, filtros e uma pistola de metalização.

Características

- alta espessura do revestimento, entre 100 µm a 250 µm;
- ideal para grandes reparos;
- ideal para reparos em ambientes de alta corrosividade;
- reparos em campo;
- não é um processo de difusão;
- não forma fases metalúrgicas ferro-zinco.

Revestimentos mecânicos

O processo consiste em colocar as peças num tambor rotativo onde se encontra uma mistura do metal zinco em pó com um fundente. O conjunto é aquecido a temperaturas elevadas originando a difusão do zinco na peça.

Características

- peças pequenas, menores a 20 cm;
- espessura entre 30 µm e 60 µm;
- é um processo de difusão;
- forma fases metalúrgicas ferro-zinco;
- processo limitado em relação ao tamanho das peças.

Pintura rica em zinco

Protege o aço do ambiente corrosivo como barreira.

Características

- maior flexibilidade;
- maior facilidade da aplicação;
- espessura do revestimento entre 20 µm e 100 µm;
- não é um processo de difusão;
- não forma fases metalúrgicas ferro-zinco;
- precisa de um extremo controle da umidade para sua aplicação.

Galvanização por imersão a quente (conhecida como “a fogo”) realizada em banho de zinco fundido

Após a limpeza química superficial, a peça é imersa num banho de zinco fundido que se encontra a uma temperatura de 445°C. O tempo de permanência no banho origina a difusão dos átomos de zinco no aço formando o recobrimento metalúrgico de proteção.

Galvanização por imersão a quente (conhecida como “a fogo”) em linha contínua

Características

- espessura do revestimento entre 5 µm e 40 µm;
- é um processo de difusão;
- forma fases metalúrgicas ferro-zinco;
- na fabricação de peças, a partir da chapa, a face cortada fica sem recobrimento;
- baixa camada de zinco comparado ao processo por batelada.

Galvanização por imersão a quente (conhecida como “a fogo”) em peças centrifugadas

As peças são transportadas em cestos metálicos, após serem galvanizadas passam pela etapa de centrifugação para remover o excesso de zinco líquido.

Características

- é um processo de difusão;

- formação de fases metalúrgicas ferro-zinco;
- espessura entre 50 μm e 60 μm ;
- processo focalizado para peças pequenas.

Galvanização a fogo em peças penduradas

As peças são penduradas numa gancheira utilizando arame, corrente ou dispositivo metálico.

Características

- as tubulações ficam galvanizadas interna e externamente;
- é um processo de difusão;
- formação de fases metalúrgicas ferro-zinco;
- espessura entre 50 μm a 200 μm ;
- as peças devem comportar o tamanho da cuba;

- O processo só pode ser feito numa unidade industrial, não na obra.

Galvanizado a fogo - etapas

Após a limpeza superficial, a peça é imersa num banho de zinco fundido, a uma temperatura de 445°C, o tempo de contato origina a difusão dos átomos de zinco no aço formando o recobrimento metalúrgico de proteção.

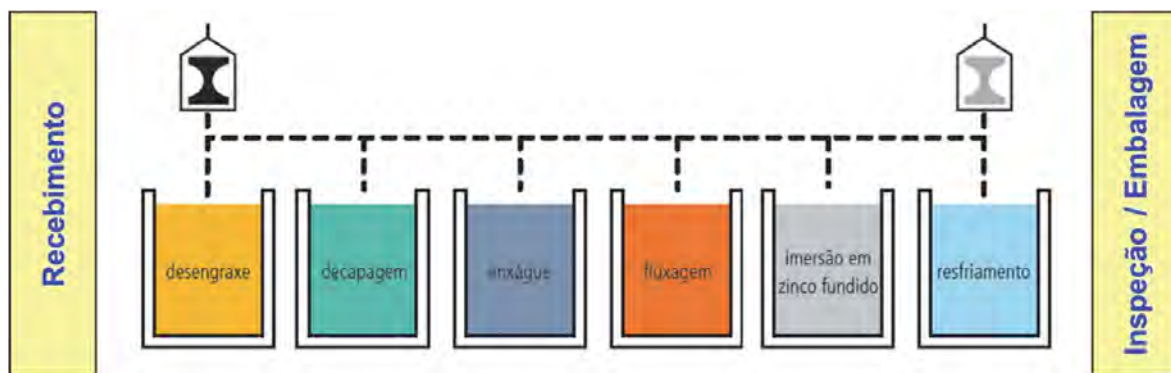
- Recebimento
 - Conferência - Pesagem Descarga - Identificação Acondicionamento
- Montagem
 - Controle - Densificação - Continuidade
- Desengraxe



Peça na centrífuga



Peças penduradas



- Operação de limpeza superficial visando a remoção de materiais orgânicos, como óleos e graxas.
- Controle: Concentração Desengraxante, pH e Temperatura
- Decapagem
 - Retirada de óxidos.
 - Óxidos e cascas de óxidos não são removidos nos banhos de desengraxe.
 - Controle: concentração de HCl, % Fe e % Zn
- Fluxagem
 - Retardar oxidação antes da imersão.
 - Proporcionar uma uniformidade e aderência da camada de Zinco.
- Controle: concentração de sais, pH, % Fe, % Zn e Temperatura.
- Banho de Zinco
 - Difusão zinco-ferro formando a camada protetora.
 - Controle: % Zn (SHG), % Al, % Fe, Temperatura e Tempo de imersão
- Inspeção
 - De acordo norma técnica NBR 6323.
 - Controle: camada de zinco e Aderência
- Embalagem e expedição
 - Utilizar cintas metálicas nas fixações das peças e madeiras na separação das mesmas.
- Perfil da camada de zinco



Metalização
(100 a 250µm)

Galvanização a fogo
por batelada
(50 a 200 µm)

*

Pintura rica em zinco
(30 a 50 µm)

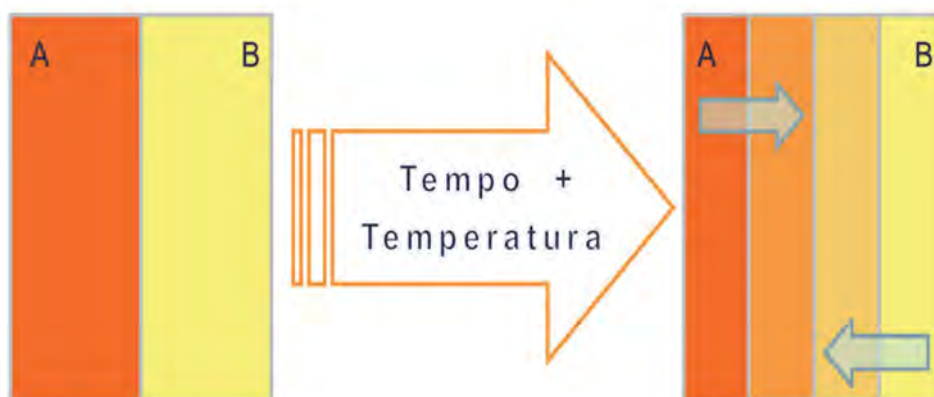
Galvanização em
linha contínua
(20 a 40 µm)

*

Galvanização
Eletrolítica
(2 a 25 µm)

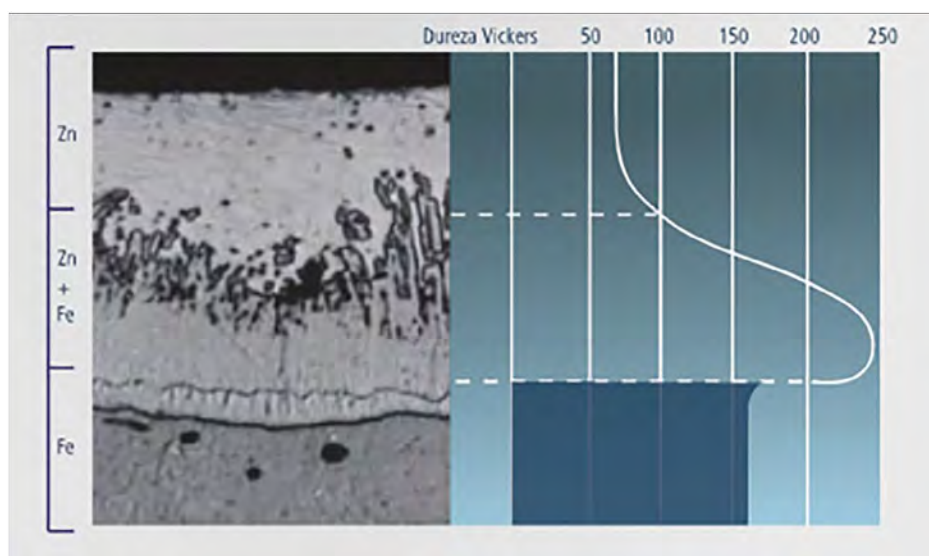
* Existe difusão atômica e formação de fases metalúrgicas ferro-zinco.

- Difusão atômica



A difusão dos átomos acontece em ambos os sentidos.

- Fases metalúrgicas



Formação de fases metalúrgicas ferro-zinco, aumentando a aderência e dureza do revestimento.

- Benefícios da galvanização a fogo
 - maior vida útil em todos os ambientes, por tanto, maior rentabilidade do projeto;
 - baixo custo de manutenção;
 - proteção por barreira e proteção galvânica, o zinco age como ânodo de sacrifício;
 - processo de difusão atômica, oferece maior aderência e dureza à proteção;
 - proteção interna e externa das tubulações;
 - cálculo da taxa de corrosão anual do zinco para extrapolar a vida útil da proteção.

Metodologia de avaliação da resistência à corrosão de aços eletrogalvanizados submetidos a ensaios com altas concentrações de íons cloreto

Egualda Pereira da Silva Pimenta^a, Rogério Augusto Carneiro^b, Arlindo Lopes Faria^c

^a Mestre em Engenharia Química, Pesquisadora Especialista - USIMINAS

^b Mestre em Engenharia Química

^c Mestre em Engenharia Metalúrgica, Engenheiro Assistência Técnica - USIMINAS

Resumo

O revestimento de zinco aplicado nos aços possui a função de protegê-los, podendo corroer preferencialmente ao substrato, ocasionando a formação de óxidos com características protetoras. Entretanto, em ambientes constantemente úmidos, esses óxidos não se formam adequadamente, o que é agravado pela presença de íons cloreto. Muitos ensaios acelerados cíclicos de corrosão utilizam altas concentrações de íons cloreto, resultando na formação de sais solúveis de zinco, que são removidos da superfície pelas névoas condensadas, podendo originar resultados que não representam adequadamente o desempenho do material. Esse estudo teve o propósito analisar as causas desse comportamento. Para tanto, foi avaliado um aço com e sem revestimento de zinco que, após pré-tratamento e pintura em indústria moveleira, foi submetido a um ensaio acelerado cíclico de corrosão (norma NBR 10821) e, também, a 13 meses de ensaio em atmosfera industrial natural. Foi verificado que o aço revestido com zinco praticamente não apresentou avanço e/ou deslocamento de tinta após o ensaio em atmosfera industrial. Em contrapartida, o deslocamento da tinta do aço galvanizado foi maior que a do aço não revestido após o ensaio acelerado com altas concentrações de íons cloreto. Portanto, conclui-se que a correta avaliação da resistência à corrosão dos aços galvanizados depende fundamentalmente da seleção de ensaios que representem adequadamente as condições de aplicação do material e que se os resultados não forem corretamente interpretados podem levar a conclusões precipitadas.

Palavras-chaves: aço galvanizado, íons cloreto, ensaios cíclicos de corrosão, corrosão.

Introdução

A galvanização é um dos mais antigos e bem sucedidos métodos de proteção do aço contra a corrosão. O processo de galvanização a quente foi patenteado nos Estados Unidos em 1837 e, em 1870, foi aberta a primeira fábrica nesse país [1]. Contudo, o desenvolvimento tecnológico possibilitou o surgimento de dois processos de galvanização distintos, que são amplamente utilizados pela indústria: o método eletrolítico e o de imersão a quente. Revestimento é composto por zinco hexagonal nos aços eletrogalvanizado (EG) e galvanizado a quente (GI), e de fases intermetálicas de zinco-ferro no aço galvanizado a quente com tratamento térmico (GA - *galvannealed*), sendo esses últimos obtidos por imersão a quente. A principal reação química observada na produção de aços EG é a de redução de íons de zinco na superfície do aço. Já no processo de galvanização por imersão a quente a formação da camada de revestimento ocorre quando a chapa de aço entra em contato com o zinco metálico fundido.

O emprego de revestimentos a base de zinco constitui o método mais eficiente em termos de custo e em relação ao meio ambiente para proteção do aço contra corrosão. Se por algum motivo o revestimento é danificado, o zinco corrói preferencialmente ao substrato de aço, formando o óxido de zinco. Na presença de umidade, este óxido é convertido em hidróxido de zinco, que então reage com o dióxido de carbono presente no ar para formar o carbonato de zinco, o qual é aderente à superfície, relativamente insolúvel e o responsável pela excelente proteção anticorrosiva proporcionada pelos revestimentos galvanizados. Contudo, a presença de agentes corrosivos na atmosfera, como íons cloreto ou compostos de enxofre, prejudica a formação do carbonato de zinco e, por consequência, diminui o desempenho anticorrosivo dos revestimentos [1,2].

Para avaliar o desempenho e a eficiência desses revestimentos, comumente são empregados ensaios acelerados de corrosão. Estes utilizam altas concentrações de íons cloreto, promovendo a formação de sais solúveis de zinco que, em conjunto com a camada protetora do revestimento, são removidos da superfície pelas

névoas condensadas. Dentre esses, tem-se o ensaio de exposição à névoa salina (*salt spray*), utilizado desde 1914 e padronizado pela ASTM em 1939, na norma ASTM B 117 [3,4]. O ensaio consiste na pulverização contínua, sobre as amostras a serem avaliadas, de uma solução de cloreto de sódio (NaCl) a 5 % m/v em uma câmara com temperatura a 35 °C.

Atualmente, existe um consenso entre o mundo acadêmico e o industrial de que os resultados de exposição a esse ensaio, frequentemente, apresentam baixa correlação com aqueles obtidos em exposições reais durante a vida em serviço de um equipamento ou uma estrutura [4,5,6]. Na tentativa de melhorar a representatividade do ensaio por exposição a névoa salina, muitas modificações foram feitas ao longo dos anos, sendo que, atualmente, existe uma infinidade de ensaios cíclicos de corrosão acelerados, como os listados na Tabela 1 [7].

A norma NBR 10821 - Esquadrias Externas para Edificações [8] contempla um ensaio acelerado de corrosão, cujas etapas estão apresentadas em forma de fluxograma na Figura 1. Embora uma das etapas utilize alta concentração de íons cloreto (NaCl a 5 % p/v), esse ensaio já é um avanço, haja vista que nas versões anteriores da norma a avaliação era feita apenas pelo ensaio de névoa salina contínua (ASTM B 117). O critério atual dessa norma é que, ao término de dois, quatro ou seis ciclos do ensaio, as amostras apresentem grau de corrosão igual a R0 (isento de corrosão), conforme a norma ABNT NBR ISO 46283 [9], e grau de empolamento igual a dO/tO, conforme a ABNT NBR 5841 [10], Tabela 2.

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a resistência à corrosão do aço USIMV4560 que é semelhante ao aço-carbono ao manganês SAE 1006 com adição de boro, sem e com revestimento de zinco EG, com massa de zinco por unidade de área de 20/20 g/m², após seu pré-tratamento e pintura industrial em uma indústria moveleira nacional. O objetivo foi mostrar o ganho, em relação à resistência à corrosão, ao se empregar o aço revestido, principalmente nas regiões de bordas e furos das amostras.

Tabela 1 – Ensaio acelerados de corrosão (adaptado de LeBozec; Blandin; Thierry) [7].

Teste	Poluente			T (°C)	Umidade Relativa (%); Duração
	Solução Salina % p/p pH Taxa em 80 cm ²	Frequência	Taxa de deposição de cloreto (mg/cm ²)		
Renault ECC1 D172028	NaCl 1,0;	30 min/dia	8	35	20; 1h35
	4	3,5 h / semana		35	55; 2h40
	5 mL/h			35	90; 1h20
Volvo VICT VCS1027,149	NaCl 1,0;	3 x 15 min	27	45	50; 4 h
	4	2 vezes/semana		35	95; 4 h
	120 mL/h	1,5 h/semana			
VDA621-415	NaCl 5,0	24 h / semana	136	40	100; 8 h
	6,5 a 7,2			18 a 28	50; 16 h
	1,5 mL/h			23	90; 1h20
VW PV1210	NaCl 5,0	4 h / dia (5 dias)	68	23	50; 4 h
	6,5 a 7,2	20 h / semana		40	100; 16 h
	1,5 mL/h				
GM9540P (método B)	NaCl 0,9	4 x 30 min/dia	Não especificado	50	100; 8 h
	CaCl ₂ 0,1	14 h / semana		60	30; 8 h
	NaHCO ₃ 0,3				
Daimler Chrysler	NaCl 1,0	2 h / dia (4 dias)	7,3	-15 a 50	50 a 100
	6,5 a 7,2	8 h / semana			
	2 mL/h				
Salt Spray ISO9227	NaCl 5,0	Contínuo	383	35	Não controlado
	6,5 a 7,2				
	15 mL/h				

Figura 1 – Fluxograma de um ciclo do teste de corrosão da norma NBR 10821 [8].

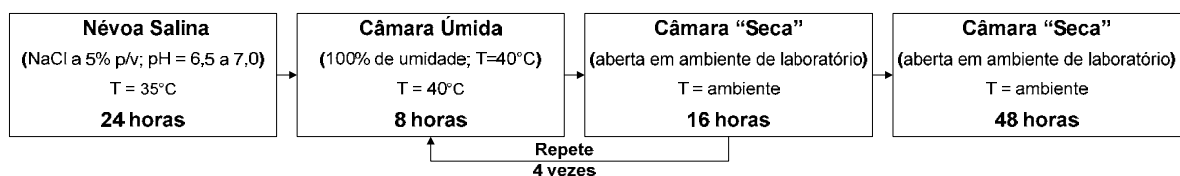


Tabela 2 – Níveis de desempenho das esquadrias de aço quanto à proteção contra a corrosão [8].

Desempenho		
Corrosão mínima (CM)	Corrosão intermediária (CI)	Corrosão superior (CS)
Dois ciclos acelerados de corrosão	Quatro ciclos acelerados de corrosão	Seis ciclos acelerados de corrosão

Metodologia

Foram ensaiadas amostras produzidas com aços EG e sem revestimento de zinco (NR) em uma indústria moveleira nacional. As amostras foram pré-tratadas com óxido de zircônio e pintadas com uma camada de tinta à base das resinas epóxi e poliéster na proporção de 70:30.

A espessura da película seca de tinta foi determinada utilizando-se um medidor por indução magnética Fischerscope MMS (*Multi Measuring System*), conforme a norma NBR 10443 [11]. Antes dos ensaios de corrosão, que serão descritos a seguir, foi feito um risco em “X” na película de tinta, de modo a avaliar o avanço da corrosão e/ou do deslocamento da tinta não aderente (*under cut corrosion/creepage*) ao longo dos lados dos riscos, conforme a norma ASTM D1654 [12]. Na Figura 2 é mostrado o aspecto de uma amostra antes e após a execução do risco intencional.

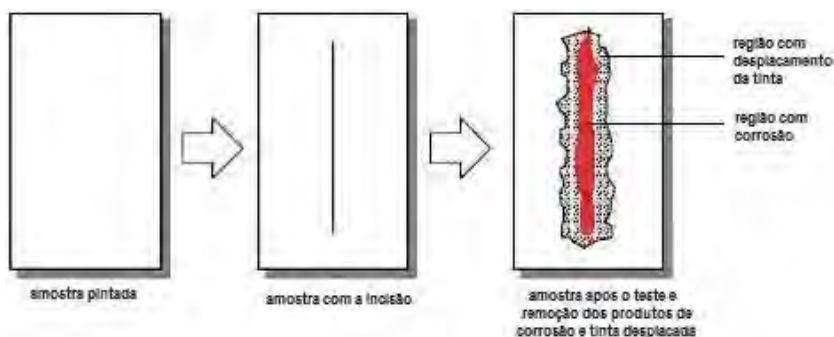
Um dos ensaios realizados para avaliar o desempenho contra a corrosão foi o cíclico prescrito na norma ABNT NBR 10821-3 [8], apresentado na Figura 1. Esse ciclo foi repetido por 6 vezes, o

que resultou em 1008 h de ensaio. Segundo essa norma, as arestas de corte (bordas) das amostras deveriam ser protegidas e não é contemplado o risco intencional. Contudo, as bordas não foram protegidas e a pintura foi riscada, de modo a possibilitar a avaliação do desempenho da camada de zinco na proteção dessas regiões.

O outro ensaio realizado foi o de exposição das amostras em atmosfera natural, por 13 meses, na estação de corrosão industrial da Usiminas, segundo a NBR 7011 [13]. Essa estação fica localizada dentro da área interna da Usiminas, em Ipatinga-MG, e acima do nível da planta industrial. A taxa de corrosão do aço-carbono ao manganês sem pintura exposto nela é de aproximadamente 0,3 kg/(m².ano), ou seja, 0,3 kg de corroído por metro quadrado por ano.

Além das avaliações contempladas na norma NBR 10821 (segundo as normas ABNT NBR ISO 46283 [9] e ABNT NBR 5841 [10]), após os ensaios foi medido o avanço da corrosão e/ou da tinta deslocada em torno do risco, conforme norma ASTM D1654 [12]. Esse procedimento está ilustrado esquematicamente na Figura 3.

Figura 3 – Representação esquemática do avanço da corrosão e/ou do deslocamento da tinta.



(a) sem o risco intencional



(b) com o risco intencional

Figura 2 – Aspecto representativo das amostras sem e com o risco em “X”, antes dos ensaios.

Para tanto, inicialmente a película de tinta não aderente na região riscada foi removida com espátula. Em seguida, o avanço foi medido empregando-se técnica de análise de imagem desenvolvida pela Usiminas. Essa análise consiste em uma câmara CCD (*couple charge device*) monocromática, uma placa para aquisição de imagem modelo PCI1407 e *software* de aquisição e processamento, fazendo-se uso da linguagem de programação LabVIEW 6.1 da National Instrument, o que permitiu a obtenção de aproximadamente 200 medidas do avanço da corrosão de cada amostra [14].

Após a etapa de pré-tratamento e seis ciclos do ensaio de corrosão acelerado, as superfícies das amostras foram avaliadas via microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por espectroscopia por dispersão de energia (EDS), para verificação das espécies químicas presentes.

Resultados e discussão

Conforme pode ser visto na Figura 4, o óxido de zircônio aparece como pequenos aglomerados (cerca de 10 nm) de partículas de formato aproximadamente circular e de tamanho uniforme. Portanto, muito dificilmente a aderência de filmes de tinta nesse tipo de camada pode ser por meio físico, semelhantemente ao que ocorre com a camada de fosfato. Nas análises por EDS, foi possível detectar os elementos químicos zircônio, cobre e silício.

Os resultados das medições de espessura e de aderência da tinta estão apresentados na Tabela 3. Segundo os critérios da norma NBR 11003 [15], a aderência da tinta foi classificada como Y_0 , o que significa que não houve nenhum destacamento ao longo das incisões e das interseções, respectivamente, feitas intencionalmente na superfície das amostras.

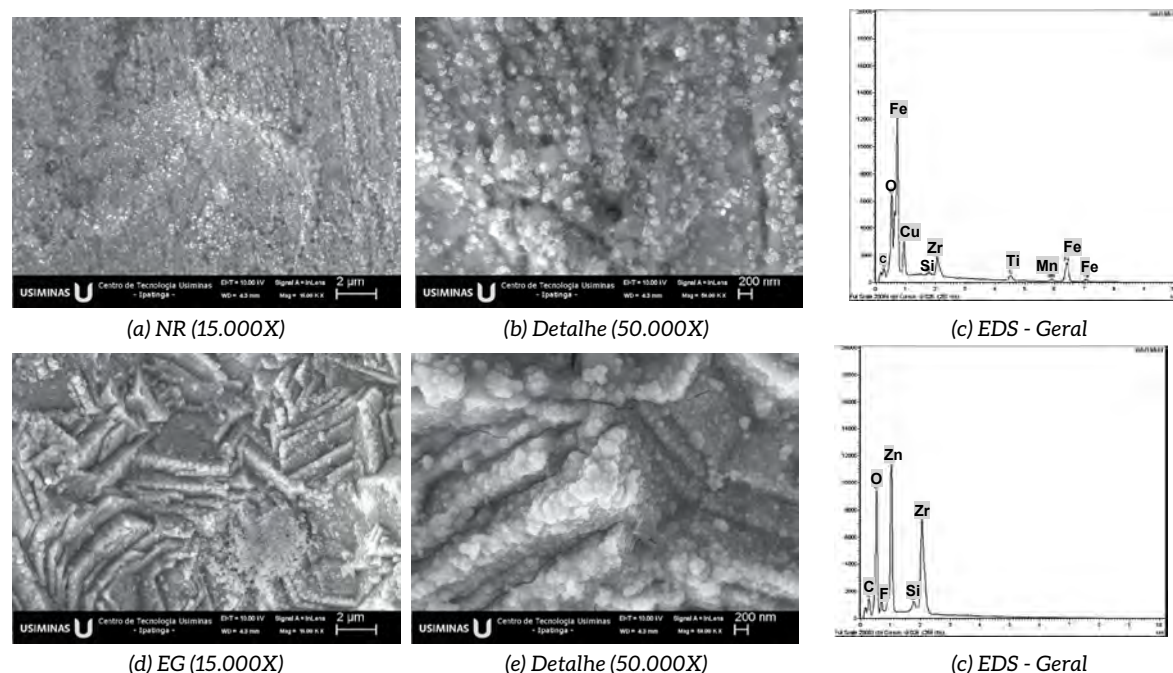


Figura 4 – Aspectos representativos, via MEV-FEG, do pré-tratamento e os respectivos espectros de microanálises por EDS.

Tabela 3 – Espessura da película de tinta (média $\pm$ desvio padrão) das amostras.

Amostra	Espessura película tinta (μm)	Aderência (NBR11003)
NR	61 ± 11	Y_0
EG	44 ± 7	Y_0

Na Figura 5, são mostrados os aspectos das amostras ao final de três e de seis ciclos do ensaio segundo a norma NBR 10821 [8]. De acordo com os critérios dessa norma, ao final dos seis ciclos, as duas amostras apresentaram desempenho “superior” já que não foram observadas bolhas na tinta. A corrosão e/ou deslocamento da tinta se localizou apenas no risco feito intencionalmente. Na face inferior das amostras que recebeu apenas um “flash” de tinta durante a pintura, pode ser vista a corrosão vermelha do substrato de aço nas amostras de aço não revestido, figuras 5b e 5f.

Apresentam-se, na Figura 6, as amostras após 13 meses de exposição em atmosfera natural. Na Figura 7, estão apresentados os aspectos da região do risco intencional após os dois ensaios de corrosão (NBR 7011 e NBR 10821)

e, na Tabela 4, encontram-se os resultados das medições do avanço em torno dos riscos. Após a exposição das amostras em atmosfera industrial, o avanço da corrosão foi de 18 mm para o aço não revestido e de 1 mm para o aço eletrogalvanizado. Nesse último, o valor obtido era praticamente o da espessura do risco feito intencionalmente nas amostras. Esses resultados estão de acordo com o esperado para os aços revestidos com zinco. No presente caso, mesmo com uma camada muito baixa de zinco (20 g/m² de zinco por face) e espessura da película seca de tinta do aço eletrogalvanizado menor do que a do aço não revestido, como apresentado na Tabela 3, foi possível verificar o desempenho muito superior da amostra revestida com zinco.

O avanço (somatório da corrosão e do deslocamento da tinta) para o aço galvanizado



Figura 5 – Aspectos das amostras dos aços após o ensaio segundo a norma NBR10821 [8].



Figura 5 – Aspectos das amostras dos aços após o ensaio segundo a norma NBR10821 [8].

após o ensaio acelerado de corrosão foi de 9,5 mm e para o aço não revestido 6,1 mm, Tabela 4, o que a princípio parece contraditório com o esperado. Contudo, pelas análises via MEV/EDS das regiões do risco intencional, Figura 8, verifica-se que o avanço no aço eletrogalvanizado se trata das amostras após o ensaio, apenas de deslocamento da tinta. Nas análises por EDS da amostra do aço EG foi possível detectar o pico do elemento Zn, figuras 8g e 8h. Assim, o zinco exerceu o seu papel de metal de

sacrifício e impediu a ocorrência de corrosão significativa do substrato. Já no aço não revestido todo o avanço foi decorrente da corrosão do substrato, como revelado pela presença significativa do elemento químico Fe nas análises por EDS, figuras 8e e 8f. Esse resultado é semelhante ao obtido quando os aços galvanizados são submetidos ao ensaio em câmara de névoa salina contínua ou a outros ensaios que envolvem altas concentrações dos íons cloreto [3, 4, 5, 6, 7, 16].

Tabela 4 – Avanço da corrosão e/ou deslocamento da tinta após os ensaios (valores expressos em média e desvio padrão).

Testes	Avanço da Corrosão (mm)	Avanço de deslocamento da tinta (mm)
	NR	EG
Ensaio Acelerado (NBR 10821) : 1008 h (6 ciclos)	6 + 1	10 + 0
Atmosfera Industrial (NBR 7011): 13 meses	18 + 2	1 + 0

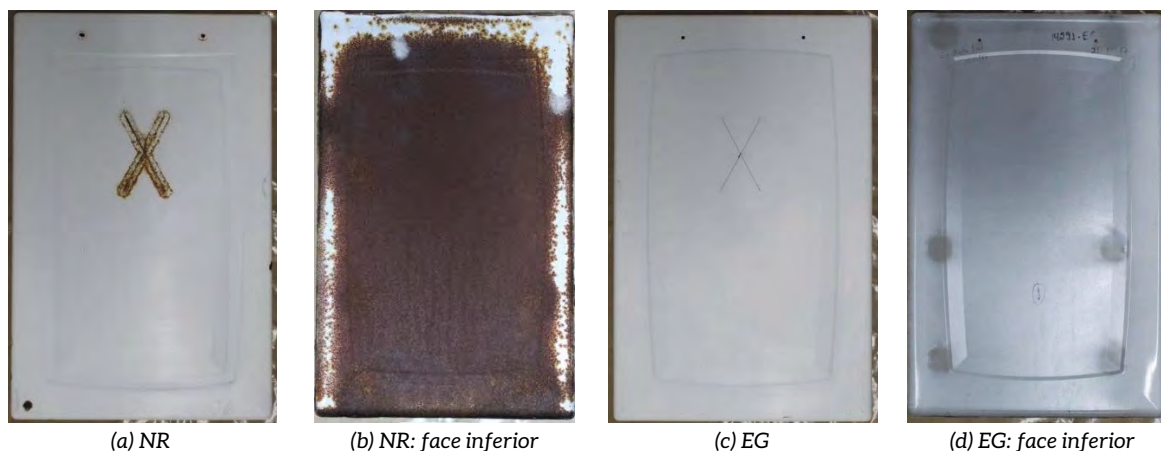


Figura 6 – Aspectos das amostras após 13 meses de exposição em atmosfera natural.

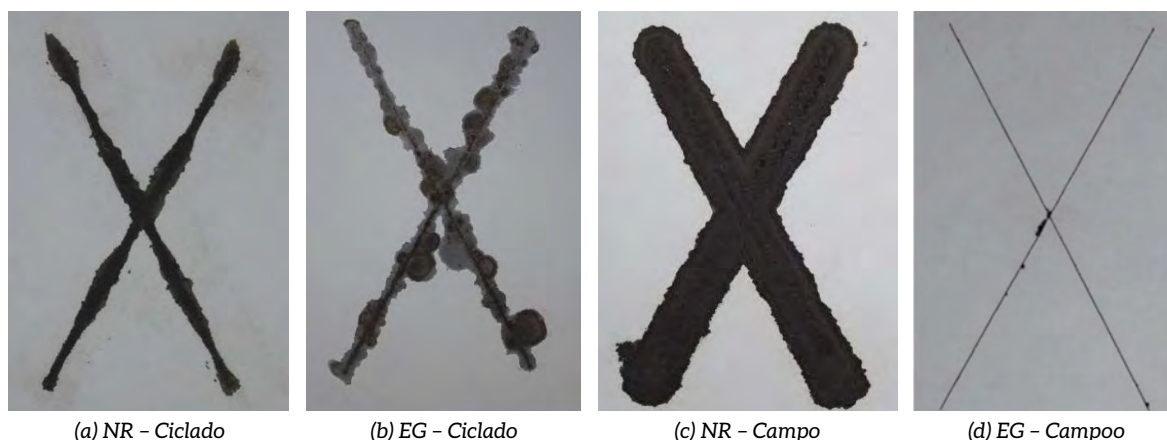


Figura 7 – Aspectos das regiões dos riscos intencionais após 6 ciclos do ensaio da norma NBR10821 [8].

As causas para a não correlação entre os resultados de resistência a corrosão obtidos nos ensaios com altas concentrações dos íons cloreto e os obtidos nas exposições naturais são várias. Mas a principal razão é que os mecanismos de degradação envolvidos são diferentes, de modo que o comportamento dos aços galvanizados, nesses ensaios, não apresenta uma correlação com os seus desempenhos em serviço [3, 4, 5, 6, 7, 16]. A perda de aderência da tinta em ensaios de exposição à atmosfera natural ocorre próximo à região do risco no revestimento e é causada pela formação dos produtos de corrosão e a sua ação mecânica local, devido ao maior volume desses produtos em comparação com o metal. Nos ensaios com alta concentração de íons cloreto a delaminação, ou seja, a perda

de aderência entre a tinta e o substrato, ocorre geralmente por processos catódicos que elevam o pH para valores próximos de 11. Nessas condições, a camada de pré-tratamento é constantemente dissolvida e a película de tinta se desprende do substrato [16].

A falta de correlação também é porque em atmosferas naturais é formado um filme de carbonatos e/ou de óxidos de zinco passivo e relativamente estável durante o ciclo de secagem que contribui para o bom desempenho dos revestimentos galvanizados contra a corrosão. A umidade contínua durante alguns ensaios de corrosão acelerados não permite que essa formação ocorra porque os produtos de corrosão do zinco, responsáveis pela proteção do substrato metálico, são constantemente removidos [16].

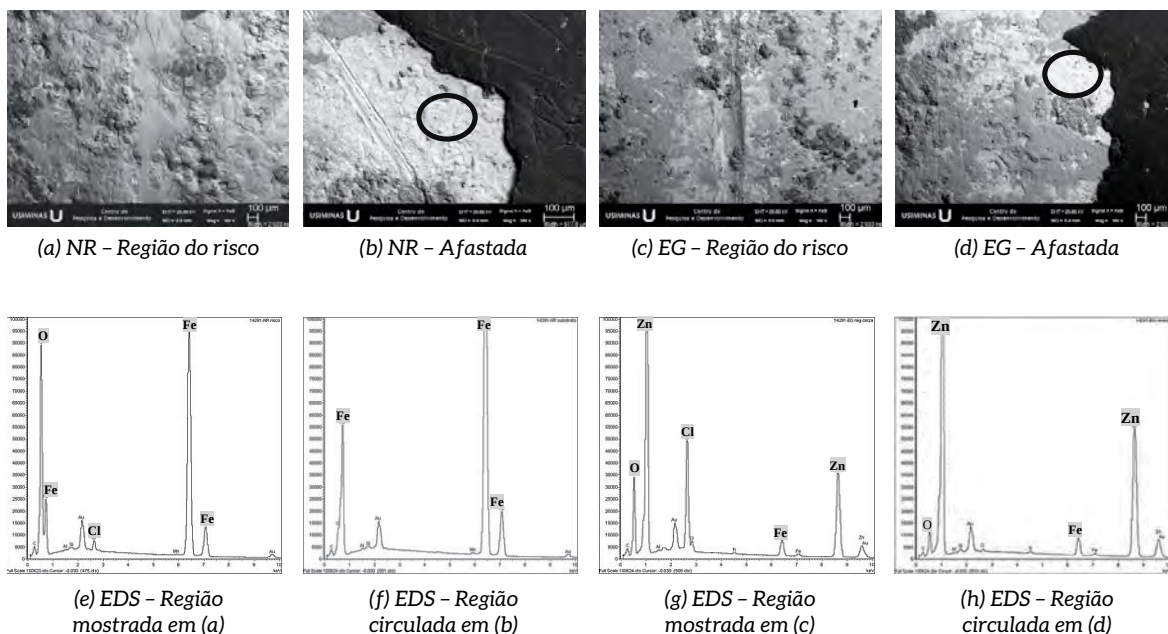


Figura 8 – Aspectos, via MEV-FEG, das regiões dos riscos e afastadas desses das amostras após o ensaio ciclado da norma NBR 10821, bem como os respectivos espectros de EDS das regiões “brancas” e “cinzas” nas imagens. A ampliação original das imagens foi de 100X.

Os resultados obtidos no presente trabalho são muito importantes e significativos e não podem ser desprezados quando na seleção de aços para uma determinada aplicação. Um dos motivos para isso é que, nos últimos anos, a exigência de melhoria da resistência à corrosão pelo mercado consumidor tornou-se uma constante fonte de preocupação. A acirrada concorrência no mercado tem forçado as empresas a melhorarem o desempenho de seus produtos frente à corrosão. Sabe-se que a corrosão em peças pintadas ocorre, essencialmente, na sua parte inferior em espaços vazios, regiões de bordas e furos e uniões. Os procedimentos para evitar essa deterioração são diversos e complementares. Entre eles, destacam-se as modificações de projeto para evitar acúmulo de eletrólitos e, principalmente, a utilização de aços revestidos pintados.

Conclusões

De acordo com os critérios da norma NBR 10821, ao final dos seis ciclos de ensaio, as duas amostras apresentaram desempenho “superior” já que não foram observadas bolhas na tinta.

Em relação ao critério de medição do avanço da corrosão e/ou do deslocamento da tinta após o ensaio em atmosfera natural, o avanço foi de 18 mm para o aço não revestido com zinco e de 1 mm para o aço eletrogalvanizado. Nesse último, o valor obtido era praticamente o da espessura do risco feito intencionalmente nas amostras. Esses resultados estão de acordo com o esperado para os aços galvanizados. No presente caso, mesmo com uma camada muito baixa de zinco eletrodepositado (20 g/m² por face) foi possível verificar o desempenho muito superior da amostra galvanizada.

Após o acelerado de corrosão, o avanço para o aço eletrogalvanizado foi de 9,5 mm e para o aço não revestido de 6,1 mm, o que a princípio parece ser contraditório, comparando aos resultados obtidos anteriormente. Contudo, pelas análises via MEV/EDS das regiões de risco das amostras após o ensaio, foi constatado que o avanço no aço eletrogalvanizado se tratava apenas de deslocamento da tinta e que o zinco exerceu o seu papel de metal de sacrifício, impedindo a ocorrência de corrosão significativa do substrato. Já na amostra não revestida, todo o avanço

foi decorrente da corrosão do substrato. Esses resultados são semelhantes aos obtidos com os aços galvanizados quando foram submetidos ao ensaio em câmara de névoa salina contínua ou a outros ensaios que utilizam altas concentrações dos íons cloreto. Nesses ensaios, acredita-se que os mecanismos envolvidos na degradação dos revestimentos são diferentes dos naturais, de modo que o comportamento dos aços galvanizados nos mesmos não apresenta uma correlação com os seus desempenhos em serviço.

A perda de aderência da tinta em ensaios de exposição à atmosfera natural ocorre próximo à região do risco no revestimento e é causada pela ação mecânica local dos produtos de corrosão, devido ao maior volume dos mesmos, em comparação com o metal. Nos ensaios com alta concentração de íons cloreto, como o névoa salina, ocorre a delaminação, ou seja, a perda de aderência entre a tinta e o substrato, geralmente devido a processos catódicos que elevam o pH para valores próximos a 11. Nessas condições, a camada de pré-tratamento é constantemente dissolvida e a película de tinta se desprende do substrato. Esse mecanismo independe do tipo de pré-tratamento aplicado.

Referências bibliográficas

1. Performance of Hot-Dip Galvanized Steel Products. GalvInfo Center. International Zinc Association. Disponível em: <<http://www.galvanizeit.org/education-and-resources/publications/performance-of-hot-dip-galvanized-steel-products>>. Acesso em: 16 dez. 2019.
2. TINKER, F. Hot-Dip Galvanizing. National Institute e of Steel Detailing and the American Galvanizers Association. March 1, 2009
3. Norma ASTM B 117 - American Society for Testing and Materials - Standard Test Method of Salt spray (fog) testing, 1995;
4. ROBERGE, P. R. What is Accelerated in Accelerated Resting: A Framework for Definition. Cyclic Cabinet Corrosion Resting, ASTM STP 1238, Gardener S. Haynes, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1995. p.18.
5. LYON, S. B.; SCANTLEBURY, J. D.; JOHNSON, J. B. "Realism in Cyclic Cabinet Corrosion Testing of Coil-Coated Steel for Building Applications. Cyclic Cabinet Corrosion Testing, ASTM STP 1238, Gardener S. Haynes, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1995. p.3.
6. GROSSMAN, D. More Realistic Tests for Atmospheric Corrosion. New Standards for Cyclic Corrosion Tests Offer Alternatives to Continuous Salt Spray. ASTM Standardization News, April 1996.
7. LEBOZEC, N.; BLANDIN, N.; THIERRY, D. Accelerated Corrosion Tests in the Automotive Industry. Materials and Corrosion 2008, 38, n.11.
8. Norma NBR 10821 - Esquadrias Externas para Edificações, 2009.
9. Norma ISO 4628 Tintas e Vernizes - Avaliação da Degradação de Revestimento - Designação da Quantidade e Tamanho dos Defeitos e da Intensidade de Mudanças Uniformes - Na Aparência - Parte 3: Avaliação do Grau de Enferrujamento, 2003.
10. NORMA NBR5841 Determinação do grau de Empolamento de Superfícies Pintadas, 2015.
11. NORMA NBR 10443 - Tintas e Vernizes - Determinação da Espessura da Película Seca sobre Superfícies Rugosas - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, novembro/2008.
12. NORMA ASTM D 1654 - 08 Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments, 2008.
13. NORMA NBR 7011 - Materiais Metálicos Revestidos por Pintura - Ensaio Não Acelerado de Corrosão - Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, dezembro/1981.
14. GONÇALVES, M. M. F.; CRUZAT, G. R.; PINTO, J. A. Q. Valuation of Corrosion Damage in Metals by Laser Technique. Technical Contribution to NACE - Brasil (CORROSION'99), São Paulo, 1999.
15. NORMA NBR 11003 - Tintas - Determinação da Aderência. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, abril/1990
16. PIMENTA, E. P. S. Resistência à Corrosão de Aços Revestidos com Zinco Submetidos ao Teste em Câmara de Névoa Salina. INTERCORR 2016, Búzios/RJ, 2016.

Corrosão em dutos Flexíveis

Fabricio Pinheiro dos Santos - CENPES-Petrobras; Ilson Palmieri Baptista - CENPES-Petrobras;
Merlin Cristina Elaine Bandeira - UFRJ-LNDC COPPE; Felipe Assunção - UFRJ-LNDC COPPE

Introdução

Dutos flexíveis são estruturas tubulares multicamadas projetadas para facilitar o transporte de óleo e gás em sistemas de produção de petróleo. Este tipo de sistema consiste em um duto formado por várias camadas (metálicas e poliméricas) onde cada camada exerce uma função específica. Essas estruturas desempenham um papel fundamental na exploração de petróleo em águas rasas e profundas em diversas partes do mundo, graças à sua notável capacidade de resposta dinâmica e à sua comprovada confiabilidade estrutural. Esta tecnologia tem avançado rapidamente e hoje são utilizados em diversos campos na costa brasileira, no mar do Norte e no Golfo do México (Bai, Bai; 2010) flow assurance and system engineering, subsea structures and equipment, and subsea umbilicals,

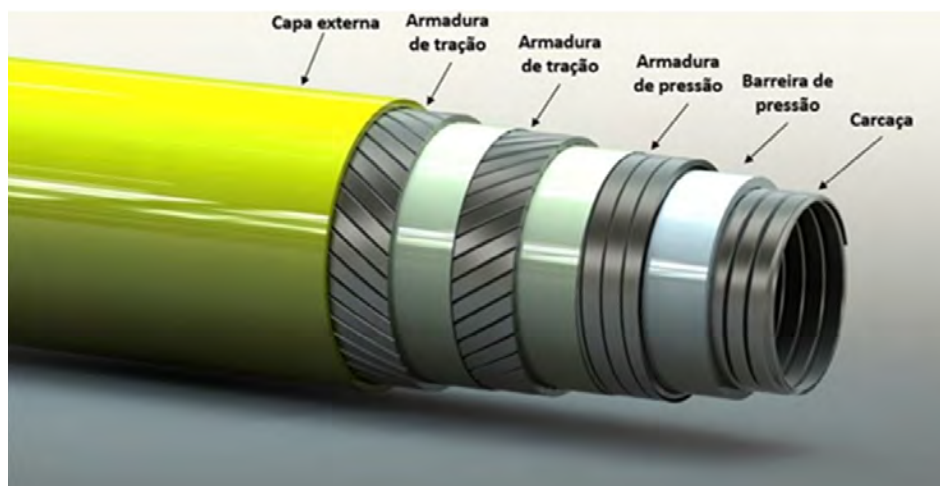
risers, and pipelines. A subsea production system consists of a subsea completed well, seabed wellhead, subsea production tree, subsea tie-in to flowline system, and subsea equipment and control facilities to operate the well. It can range in complexity from a single satellite well with a flowline linked to a fixed platform, FPSO (Floating Production, Storage and Offloading.

A Figura 1 mostra uma seção típica de um duto flexível mostrando as diferentes camadas existente neste componente.

A seguir, apresenta-se uma descrição resumida de cada camada:

- Carcaça: consiste em uma camada intertravada fabricada a partir de tiras de aço inoxidável. A carcaça impede o colapso do revestimento interno e oferece proteção

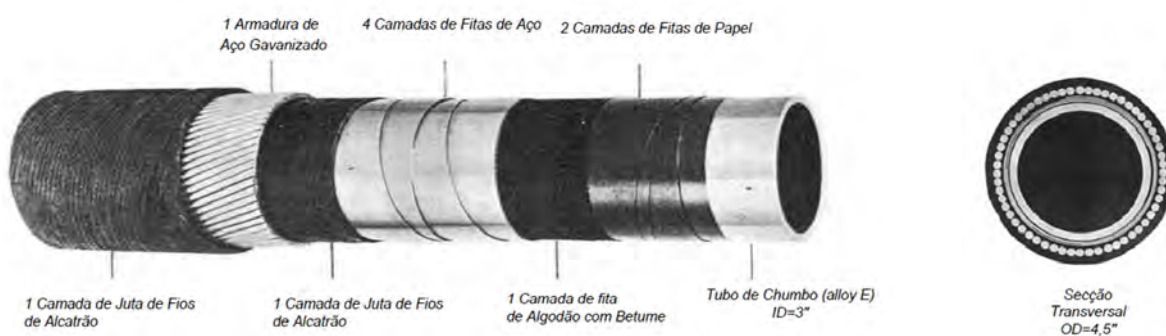
Figura 1 - Seção transversal típica de um duto flexível



Dutos flexíveis são estruturas tubulares multicamadas utilizadas na exploração de petróleo, oferecendo flexibilidade e resistência em ambientes desafiadores. Ao selecionar materiais para armaduras de pressão e tração, é crucial considerar os processos corrosivos que podem se desenvolver no espaço anular. O alto confinamento no espaço anular desses dutos resulta em uma rápida saturação de ferro, gerando produtos de corrosão protetores e um aumento de pH. Esses fatores combinados criam um ambiente potencialmente menos severo do que o previsto por modelos convencionais. Compreender essa dinâmica é crucial para otimizar a seleção de materiais e estender o uso de dutos flexíveis para condições mais desafiadoras.

Palavras-chaves: Dutos flexíveis, Corrosão, CO₂.

Figura 2 - Duto Flexível HAIS (Searle, 2004).



- mecânica contra ferramentas de limpeza e partículas abrasivas;
- Barreira de Pressão: consiste em uma camada polimérica extrudada que proporciona estanqueidade ao fluido transportado. Os materiais poliméricos mais comuns são Polietileno (PE), Polietileno Reticulado (XLPE), Poliamida 11 (PA11) e Fluoreto de Polivinilideno (PVDF);
- Armadura de Pressão: camada estrutural composta por fios de aço com perfil específico enrolados helicoidalmente. As camadas de armadura de pressão oferecem resistência a cargas radiais (pressão);
- Armaduras de Tração: conjunto de camadas estruturais compostas por fios de aço planos enrolados helicoidalmente. As camadas são enroladas em pares opostos. Essas camadas oferecem resistência a cargas de tensão axial;

- Capa Externa: camada polimérica extrudada. Sua função é proteger os componentes de aço do duto do ambiente externo.

O primeiro registro do uso deste tipo de estrutura para transporte de hidrocarbonetos remonta ao ano de 1944 durante a segunda guerra mundial. Na ocasião, foi desenvolvido um duto flexível baseado no projeto de um cabo de comunicação submarino para suprimento de combustível da Inglaterra para o norte da França pelo Canal da Mancha.

O duto flexível conhecido como HAIS (*Hartley Anglo Iranian Siemens*) possuía 3" de diâmetro com uma camada de interna fabricada em chumbo e mostrava um conceito muito similar aos dutos atuais (Figura 2).

Ao comparar o duto HAIS com os projetos atuais, torna-se evidente que o conceito fundamental do duto flexível permanece inalterado,

onde cada camada desempenha uma função específica no conjunto como um todo. A principal diferença está na seleção dos materiais, que se tornou significativamente mais sofisticada ao longo dos anos. Essa mudança é resultado não apenas da evolução natural de qualquer tecnologia com o tempo, mas também da necessidade crescente de utilizar dutos flexíveis em condições cada vez mais desafiadoras, especialmente em relação à agressividade dos meios corrosivos transportados.

No que diz respeito aos materiais metálicos que compõem o duto flexível, as armaduras de tração e pressão são de particular destaque. Estas camadas são fabricadas em aço de elevada resistência mecânica com teor de carbono entre 0,35 % e 0,7 %. Uma vez que os materiais cumpram os critérios de resistência mecânica, o principal fator para a seleção de material é a avaliação dos principais mecanismos de corrosão a que as camadas metálicas estão sujeitas.

Em função da configuração do duto flexível e da posição de cada camada, a estratégia de seleção de materiais segue diferentes metodologias. Enquanto para a carcaça deve-se adequar o material ao ambiente do bore, para as armaduras de tração e pressão deve ser realizada uma avaliação do ambiente do espaço anular de forma a se definir o nível de corrosividade a ser considerado.

Espaço anular

A seleção de materiais para as armaduras dos dutos flexíveis apresenta uma complexidade adicional devido ao fato de que esses materiais não estão diretamente expostos ao ambiente corrosivo do fluido transportado pelo duto. Em vez disso, estão contidos em uma região conhecida como espaço anular que é definida como o espaço localizado entre a barreira polimérica interna e a capa externa do duto flexível como mostrada na Figura 3.

Existe uma grande dificuldade em se definir com segurança qual é a composição do ambiente corrosivo do espaço anular sendo que este ambiente pode mudar por diversas razões ao longo do tempo. Por exemplo, logo após a

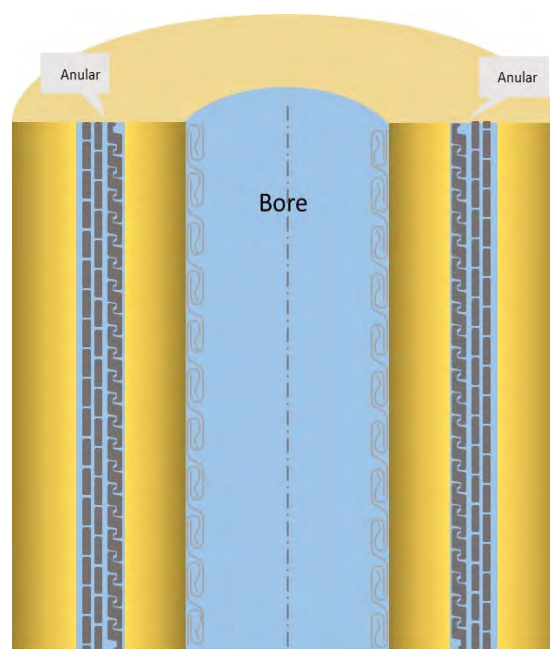


Figura 3 - Esquema mostrando a região do anular em dutos flexíveis

fabricação, o espaço anular é preenchido apenas com ar atmosférico. Esta condição a princípio não seria capaz de desenvolver nenhum mecanismo de corrosão relevante para as armaduras metálicas visto que não há eletrólito presente.

No entanto, a capa externa pode ser danificada, durante a instalação ou operação. Isso levará ao alagamento do espaço anular pela água do mar aerada. No entanto, o oxigênio presente nessa água é rapidamente consumido pelo processo corrosivo nos arames.

Considerando que as barreiras poliméricas internas usadas em dutos flexíveis permitem a passagem de gases e vapores por permeação, o vapor d'água no interior do duto pode difundir-se através da barreira polimérica, levando à condensação no anular. Além disso, juntamente com vapor de água, gases corrosivos como CO_2 e H_2S também podem permear e se difundir na região anular e ativando outros mecanismos de corrosão.

A definição correta do ambiente do espaço anular é complexa e necessita de modelos que realizem simulações de permeação de gases através da camada polimérica. A Figura 4 mostra um esquema ilustrando o processo de permeação

de gases em uma seção de dutos flexível e a Figura 5 mostra os principais parâmetros utilizados no cálculo.

Nessas circunstâncias, o ambiente corrosivo no anular pode ter um efeito significativo na vida útil das armaduras e precisam ser considerados no design e na operação.

As empresas fornecedoras de dutos flexíveis possuem modelos e metodologias bem estabelecidos para prever o ambiente no anular. Esses modelos apresentam diferentes suposições, simplificações e métodos para resolver as equações diferenciais de difusão, a fim de fornecer valores de pressão total, pressões parciais e fugacidades de cada gás.

Além das equações de difusão, modelos de equilíbrio termodinâmico são incorporados

para determinar a partição e a composição das fases resultantes no anular. A partir dos valores de fugacidade e das condições de pressão e temperatura no anular, é possível calcular o pH do meio, utilizando programas comerciais separados ou resolvendo as equações de equilíbrio químico incorporadas ao próprio modelo de permeação.

Avaliação da Corrosividade no anular de dutos flexíveis

Existem diferentes mecanismos de falha de dutos flexíveis descritos na literatura, muitos deles estão associados a algum processo de corrosão. Este fato se deve principalmente à permeação de gases corrosivos (CO_2 e H_2S) do bore para o anular além da possibilidade de

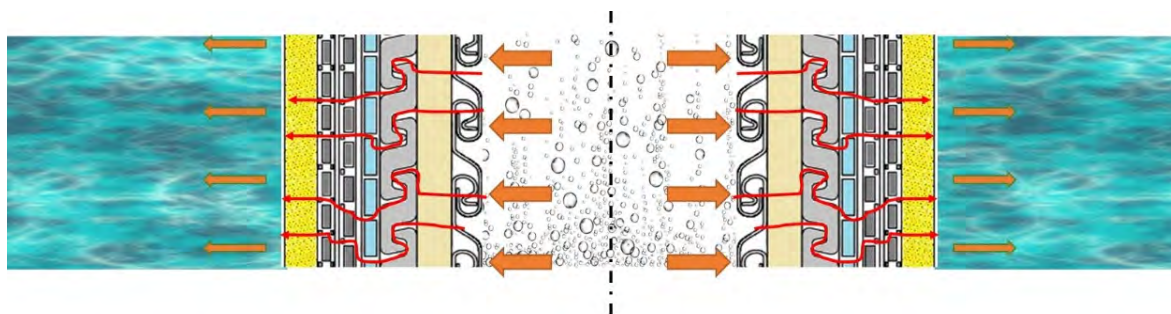


Figura 4 - Processo de permeação em uma seção de duto flexível

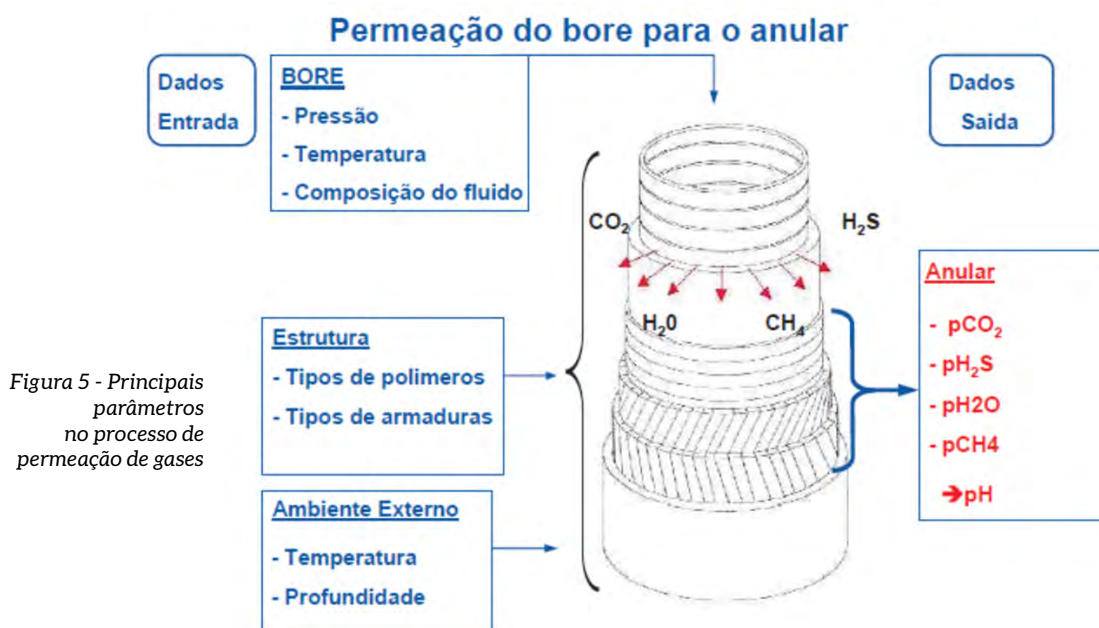


Figura 5 - Principais parâmetros no processo de permeação de gases

alagamento do espaço anular devido também ao processo de permeação de vapor de água do bore ou ingresso de água do mar por danos na capa externa ou por ineficiência de vedações presentes no conector.

Existe uma vasta literatura especializada que descreve os principais mecanismos de falha esperados em dutos flexíveis com foco nas armaduras metálicas conforme mostrado a seguir:

- Corrosão fadiga;
- Corrosão sob tensão por sulfetos;
- Trincamento induzido pelo hidrogênio;
- Corrosão pelo oxigênio;
- Corrosão pelo CO_2 .

Apesar destes mecanismos serem amplamente estudados em diferentes grupos de pesquisa, a experiência prática tem mostrado uma baixa probabilidade de falha em campo relacionada a estes mecanismos de corrosão. De fato, mesmo em condições extremas, estes mecanismos de corrosão têm se mostrado menos severos quando comparados a equipamentos convencionais.

Um exemplo disso é o fato de as taxas de corrosão em armaduras de tração observadas em campo serem extremamente baixas, da ordem de 10 mm/ano, enquanto situações de elevado teor de CO_2 , associadas a condições adversas no anular, podem alcançar taxas de 1 mm/ano.

Outro ponto a ser observado está associado à suscetibilidade ao trincamento pelo H_2S . É de conhecimento da literatura que materiais de elevada resistência mecânica possuem elevado risco de apresentarem trincas por corrosão sob tensão por sulfetos (SSC) ou trincas induzidas por hidrogênio (HIC) devido ao H_2S . Os materiais utilizados como armaduras de dutos flexíveis apresentam elevada resistência mecânica (acima de 1000 MPa) e podem apresentar trincamentos em ensaios padronizados por normas.

Em geral, o limite esperado para materiais com resistência da ordem de 1200 MPa não é superior de 1 mbara de H_2S . No entanto, a experiência de campo tem mostrado pouca probabilidade de ocorrência deste mecanismo

para dutos operando com teores relativamente elevados de H_2S (200 mg/L). De fato, apesar deste mecanismo ser previsto em normas de projeto de dutos flexíveis (API, 2008) ele tem se mostrado menos crítico.

A razão apontada para esta aparente discrepância está associada ao ambiente único do espaço anular de dutos flexíveis. Conforme já mencionado, o anular é uma região composta principalmente por material metálico e fitas poliméricas. O volume livre é extremamente reduzido de forma que confinamento do espaço anular é extremamente elevado. Normalmente, este confinamento é expresso em termos da relação volume de líquido por área metálica disponível para corrosão ($V[\text{ml}]/A[\text{cm}^2]$ – também conhecido como índice de confinamento). Dutos flexíveis apresentam confinamento da ordem de 0,05 ml/cm² ou mesmo menor enquanto os meios adotados em ensaios convencionais podem apresentar valores de confinamento superiores a 10 ml/cm².

A Figura 6 mostra os resultados de taxa de corrosão em função do confinamento. De fato, os valores obtidos para confinamentos elevados foram significativamente menores do que aqueles que obtidos por modelos da literatura (0,85 mm/ano para o modelo De Waard e Milliams (de Waard; Milliams, 1991) e 3,7 mm/ano para o modelo (Norsok; 1998).

A presença de um elevado confinamento combinado com uma baixa taxa de permeação de gases corrosivos tem uma tendência de criar um ambiente saturado em íons de ferro. Este fato faz com que ocorra um consumo de H_2S formando FeS diminuindo a agressividade deste contaminante. Além disso, um elevado teor de ferro gera uma alcalinização natural do meio conforme as reações apresentadas mais adiante.

O dióxido de carbono (CO_2) está presente em maior quantidade durante a produção de óleo e gás de forma que este contaminante define a corrosividade do meio. Uma vez em meio aquoso, o CO_2 se dissolve na água formando ácido carbônico conforme a reação:

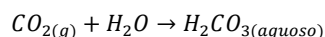
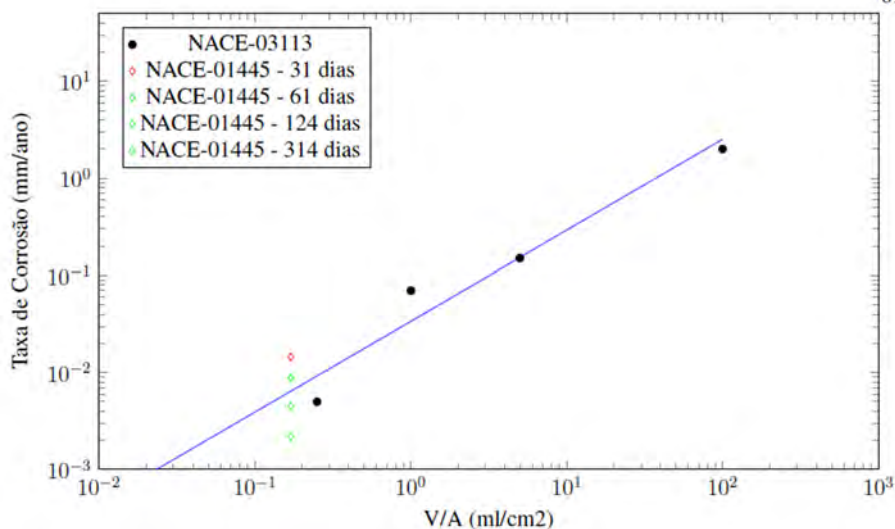
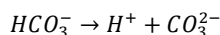
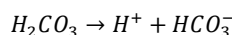


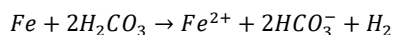
Figura 6 - Efeito do confinamento na taxa de corrosão pelo CO_2 do aço-carbono a 20 °C e 1 bar CO_2 (Dupoiron; Taravel, 2003)



O ácido carbônico é um ácido fraco que se apresenta parcialmente dissociado em meio aquoso, logo passa por duas dissociações formando íons bicarbonato e carbonato.



Considerando que a reação anódica é descrita pela corrosão do ferro, o processo global é representado pela reação:



O pH na solução aumenta e quando as concentrações de íons Fe^{2+} e CO_3^{2-} excedem o limite de solubilidade, pode ocorrer a precipitação do carbonato de ferro (FeCO_3). Quando o FeCO_3 sólido é formado na mesma taxa em que o aço corrói, o pH se torna constante no sistema em corrosão.

No entanto, como a precipitação de FeCO_3 é um processo lento, Fe^{2+} e HCO_3^- podem se acumular acima do limite de solubilidade, possibilitando uma supersaturação do ambiente com esses íons. Assim, com uma baixa V/A, o pH do sistema pode chegar a valores superiores a 4,5, valor esse maior do que o pH previsto na saturação pelos modelos termodinâmicos convencionais, tipicamente ajustados para valores muito altos de V/A. Esse pH mais elevado leva a uma

diminuição da corrosão. Neste sentido, pode se concluir que quanto maior o confinamento (baixo V/A), menor é a corrosividade do meio anular (Santos *et al.*; 2017).

O trabalho de Hunnik *et al.* (1996) mostra um modelo para determinar a evolução do teor de íons de ferro em solução durante o processo de corrosão pelo CO_2 em função do confinamento. Neste trabalho, é considerado que o teor de íons de ferro em solução é resultado da diferença entre os íons de ferro oriundo do processo de corrosão menos o teor de íons de ferro que é retirado pela precipitação de FeCO_3 conforme a equação abaixo:

$$[\text{Fe}^{2+}]_{\text{novo}} = [\text{Fe}^{2+}]_{\text{anterior}} + \{[\text{Fe}^{2+}]_{\text{cor}} - [\text{Fe}^{2+}]_{\text{prec}}\}$$

A Figura 7 ilustra o impacto do confinamento na taxa de aumento do teor de ferro em solução durante ensaios conduzidos a uma pressão de 1 bar de CO_2 e temperatura de 20 °C. A figura evidencia a variação do teor de íons de ferro em solução ao longo do tempo, demonstrando que, em condições de baixo confinamento ($\text{V/A} > 10 \text{ ml/cm}^2$), o tempo necessário para o aumento do teor de íons de ferro ultrapassa as 100 horas. Por outro lado, ao aumentar o confinamento ($\text{V/A} < 0,5 \text{ ml/cm}^2$), a saturação de íons de ferro ocorre em questão de algumas horas.

Considerando que os dutos flexíveis apresentam uma relação V/A da ordem de 0,03 ml/cm^2 ,

é plausível inferir que esse ambiente estará saturado de íons de ferro durante a operação.

Para avaliação do efeito do confinamento no valor de pH em solução foi realizado um experimento com borbulhamento contínuo de CO_2 com diferentes níveis de em uma célula de corrosão, utilizando um sensor *in situ* para medição de pH (Figura 8). Três ensaios distintos foram realizados, variando os níveis de

confinamento, e o pH foi monitorado continuamente ao longo de um período de 50 horas.

Observou-se uma relação direta entre o grau de confinamento (expresso como uma menor razão V/A) e o pH da solução: à medida que o confinamento aumentava, o pH também apresentava um aumento correspondente. Essa correlação evidencia o efeito do confinamento na composição da solução,

Figura 7 - Efeito do confinamento no teor de íons de ferro em solução a 20°C e 1 bar CO_2 (Hunnik; Pots; Hendriksen, 1996)

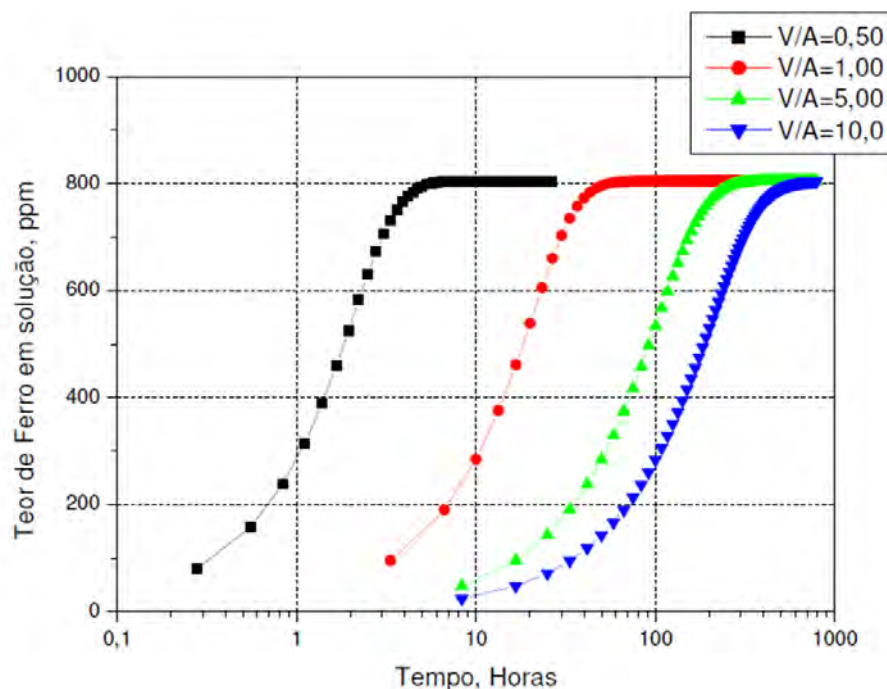


Figura 8 - Montagem do ensaio de dissolução H_2S com controle de fluxo. 1-Controlador de fluxo; 2-Célula de ensaio; 3-Sensor de H_2S ; 4-Sensor de pH e temperatura

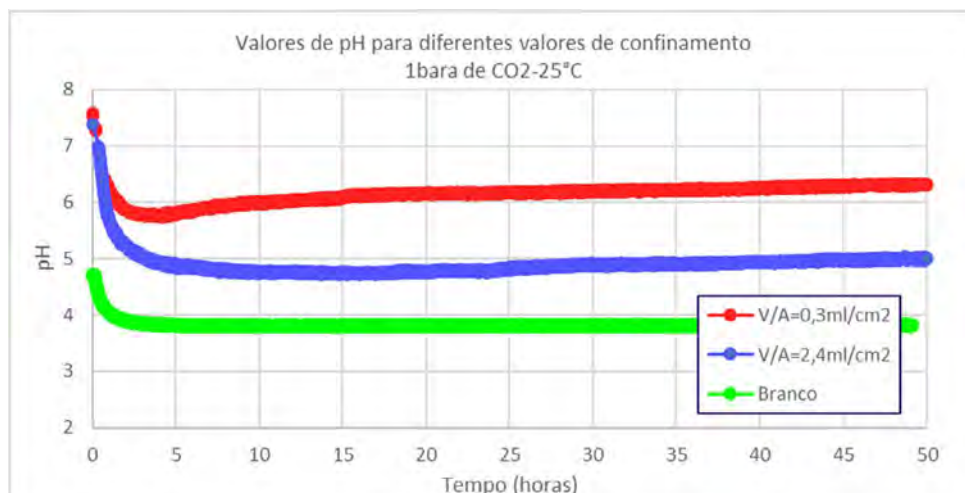


Figura 9 - Efeito do confinamento na taxa de corrosão do CO₂ no aço-carbono 20 °C 1 bar CO₂.

Tabela 1 - Relação entre pH medido e calculado em função do confinamento

V/A (ml/cm2)	Teor de íons de ferro (mg/L)	pH Medido	pH Calculado
Branco	0	3,81	3,8
2,44	40	5,0	4,7
0,3	450	6,3	5,7

corroborada pela consistência dos valores de pH calculados pelo software OLI® em comparação com os valores medidos, conforme detalhado na Tabela 1.

Conclusão

Uma definição correta do ambiente do anular é de grande importância para a correta seleção de materiais usados para a fabricação das armaduras de tração e pressão de dutos flexíveis. Atualmente, existem muitos trabalhos na literatura que mostram que o ambiente no anular é potencialmente menos severo do que o previsto por modelos convencionais.

Um ponto que aumenta a complexidade do ambiente corrosivo no espaço anular de dutos flexíveis é a rápida supersaturação de íons de ferro. Essa supersaturação resulta na formação de produtos de corrosão que podem ser protetores, reduzindo a taxa de corrosão.

Outro ponto importante é que o valor de pH em equilíbrio se mantém consideravelmente mais alto do que o previsto por esses modelos,

mesmo ao considerar a saturação. Isso aponta para a necessidade de abordagens mais avançadas no desenvolvimento de modelos que considerem a cinética de precipitação de produtos de corrosão e a evolução do pH.

Referências

- API. 2008. «API-17B-Recommended Practice for Flexible Pipe Document includes Technical Corrigendum 1», n. July.
- Bai, Yong, e Qiang Bai. 2010. *Subsea Engineering Handbook*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-689-7.10001-9>.
- Dupoiron, F., e Carol Taravel-condat. 2003. «High strength metallic materials for flexible pipes specific environments and corrosion behaviour». *NACE*, n. 03113.
- Hunnik, E W J Van, B F M Pots, e E L J A Hendriksen. 1996. «The formation of Protective FeCO₃ Corrosion Product Layers in CO₂ Corrosion». *NACE*, n. 0006.
- NORSOK. 1998. «CO₂ Corrosion Rate Calculation Model», n. June.
- Santos, Leandro, Dayanne Menezes, Li Ke, Carol Taravel-condat, e Jean Kittel. 2017. «Prediction of the flexible pipe annulus pH at high CO₂ content and high temperature». *Eurocorr*, n. 136637: 1-9.
- Searle, Adrian. 2004. *Pluto Pipe-line Under Ocean*. Shannklin Chine.
- waard, C. de, e D.E. Milliams. 1991. «Predictive model for CO₂ corrosion Engineering in wet natural gas pipelines». *Corrosion*, 1991.

LatinCorr & InterCorr 2023

Aliança fortalecida pela inovação na proteção contra corrosão

O evento, realizado de 5 a 8 de novembro de 2023 no Hotel Windsor Barra, no Rio de Janeiro - Brasil, marcou um importante encontro internacional para o estudo, inovação e compartilhamento de conhecimento no campo da prevenção à corrosão.



O LatinCorr & InterCorr 2023, fruto da colaboração entre ABRACO, Seção AMPP Brasil e Association for Materials Protection and Performance (AMPP), reuniu especialistas e empresas líderes para uma troca de conhecimento e tecnologia sem precedentes.

Com mais de 30 empresas de renome, o evento proporcionou um fórum para apresentar tecnologias de ponta, estratégias de revestimento inovadoras e práticas avançadas de gestão de ativos.

A participação dessas empresas demonstra a diversidade e a inovação apresentadas no evento. A presença de líderes do setor, aliada à expertise técnica e global da ABRACO e da AMPP, estabeleceu um ambiente propício para *networking*, para o estabelecimento de parcerias estratégicas e de troca de conhecimento, resultando em uma abordagem colaborativa para enfrentar os desafios da corrosão.

No centro de um evento dinâmico e inovador, as plenárias e as palestras técnicas ganharam destaque, trazendo especialistas de renome para discutir os desafios e avanços nos setores da energia, materiais e gestão de ativos. Cada palestra explorou áreas cruciais, oferecendo conhecimentos valiosos e perspectivas sobre o cenário presente e futuro desses campos em constante mudança. As sessões técnicas

também abordaram os desafios urgentes e avanços inovadores, ampliando a visão das áreas em destaque.

Programa técnico do evento

Vamos analisar mais de perto as discussões e apresentações importantes que marcaram este evento a seguir. Estas são apenas algumas amostras dos tópicos fascinantes abordados. Para saber mais sobre a programação completa e detalhes adicionais, das palestras e uma visão abrangente, confira a programação completa no *site* oficial do evento.





Abertura oficial

A abertura do LatinCorr & InterCorr 2023 foi liderada por figuras proeminentes no comitê executivo, incluindo Leonardo Uller, presidente do comitê executivo; Zehbour Panossian, vice-presidente do comitê executivo pelo IPT; Rosileia Mantovani, vice-presidente do comitê executivo pela AMPP Brasil; e Neusvaldo Lira de Almeida, presidente do Comitê Técnico do evento pela ABRACO.

O evento começou com saudações e introduções desses líderes, destacando a relevância e o alcance do evento. Amir Eliezer, presidente do Conselho de Diretores da AMPP, apresentou a palestra sobre “Gerando Valor Hoje e Inovando para um Futuro Sustentável”, abordando os desafios e oportunidades atuais na área.

Além disso, tivemos um depoimento da Petrobras, conduzida por Agildo Badaró, Chefe do Departamento de Tecnologia e Materiais para Proteção contra Corrosão da Petrobras, oferecendo *insights* sobre os avanços e

pesquisas no campo da proteção contra corrosão e a importância do tema para integridade dos ativos da Petrobras.

Essas apresentações marcaram o início de um evento que prometia discutir questões vitais e inovadoras no cenário da corrosão e materiais.

Plenária 1 - Hidrogênio na Transição Energética: Desafios para Materiais em Transporte e Armazenamento

Nesta plenária, o foco foi direcionado para o papel fundamental dos metais e ligas nos setores de transporte e armazenamento de hidrogênio na transição energética. A Eng. Teresa Perez e o Dr. Mariano Kappes focaram os desafios a serem enfrentados nesse tópico.

Plenária 2 - O impacto de impurezas na corrosão e na fissuração por corrosão sob tensão da infraestrutura de transporte e injeção de CO₂

Esta palestra destacou os impactos críticos das impurezas na corrosão e rachaduras por



Neusvaldo Lira



Zehbour Panossian



Rosileia Mantovani



Leonardo Uller



corrosão em infraestruturas de transporte e injeção de CO₂. O Dr. Jose Rafael Vera da DNV foi o orador principal, trazendo uma luz sobre esses desafios.

Plenária 3 - Desafios de Corrosão na Indústria de Petróleo e Gás

Esta palestra destacou os desafios específicos relacionados à corrosão na indústria de petróleo e gás. Dr. Álvaro A. Magalhães e Ilson Palmieri, representando a Petrobras, trouxeram *insights* sobre esses desafios.

Plenária 4 - Revestimentos protetores: oferecendo sustentabilidade antes que sustentabilidade fosse uma prioridade

Esta palestra trouxe à tona a importância dos revestimentos protetores em termos de sustentabilidade. Com o palestrante David Hunter, da Hempel, o evento concentrou-se na relevância desses revestimentos.

Destaques da sessão de pôsteres do LatinCorr & InterCorr 2023: explorando inovações na proteção contra corrosão ilustrar com fotos

Além das palestras e exposições, tivemos a sessão de pôsteres, que foi uma grande oportunidade para estudantes universitários apresentarem suas pesquisas e estudos promissores na luta no combate à corrosão e a sua prevenção. Nessa sessão, houve artigos sobre revestimentos orgânicos, revestimentos metálicos, corrosão e proteção de estruturas de concreto, eletroquímica, entre outros temas.

Certamente, eventos como o InterCorr 2023 desempenham um papel crucial na disseminação de conhecimento e inovação na área da engenharia. Reunindo especialistas e profissionais de renome mundial, esta conferência revelou avanços significativos e desafios cruciais enfrentados pela comunidade. É fundamental para o progresso das indústrias de materiais, transporte e armazenamento, impactando diretamente nosso futuro energético e ambiental.

Com a promessa de continuar esse diálogo e compartilhamento de descobertas, aguardamos ansiosos pelo próximo encontro em 2025, na próxima edição do InterCorr 2023. Até lá, novas soluções e conhecimentos emergirão para impulsionar ainda mais a inovação e a excelência nesta área vital. Que esse evento inspire novas colaborações e avanços que moldarão o futuro da engenharia e da sociedade como um todo. Até o InterCorr 2025!



Agradecemos à Petrobras e a todos os patrocinadores e expositores que tornaram possível esse evento.

PATROCINADORES

PLATINA



OURO



PRATA



BRONZE



EXPOSITORES



ENERGIA PARA **INOVAR** E DESENVOLVER NOVAS TECNOLOGIAS.



Há 70 anos a Petrobras é sinônimo de **inovação**, sempre investindo em novas tecnologias. Por meio do programa Conexões para Inovação, promovemos iniciativas com instituições científicas, universidades e empresas de diferentes setores. Hoje, nossa prioridade é inovar em **negócios de baixo carbono** e já temos mais de 70 parcerias com foco em **soluções mais sustentáveis**. É assim que estamos nos preparando para liderar uma **transição energética justa**.

Saiba mais em
petrobras.com.br/inovacao-e-tecnologia

PETROBRAS 70 ANOS
O BRASIL É A NOSSA ENERGIA.





55 anos na liderança da prevenção e controle da corrosão

Rio de Janeiro, 17 de outubro de 2023 – Neste dia, a Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) comemorou um marco notável em sua história, completando 55 anos de dedicação à proteção contra os efeitos danosos da corrosão. Neste aniversário, refletimos sobre o legado da ABRACO e sua contínua luta para preservar ativos e recursos, impulsionando progresso e conscientização.



A corrosão é um fenômeno que afeta inúmeros setores da indústria e causa prejuízos substanciais todos os anos. Desde estruturas metálicas e dutos até equipamentos de transporte e sistemas de energia, a corrosão é uma ameaça silenciosa que pode debilitar a infraestrutura e comprometer a segurança. A ABRACO, ao longo das últimas cinco décadas, emergiu como uma autoridade na prevenção e controle da corrosão.

A jornada da ABRACO conta com dois princípios-chave que sustentam sua missão:

Conscientização

A ABRACO tem desempenhado um papel fundamental na disseminação do conhecimento sobre corrosão. Através de conferências, congresso, cursos, publicações e treinamento, a Associação educa profissionais e o público em geral sobre a importância da proteção contra a corrosão. A conscientização é o primeiro passo para a compreensão dos efeitos nocivos da corrosão e da importância de sua prevenção. Ela capacita indivíduos e organizações a tomar medidas proativas para proteger ativos

e infraestrutura, garantindo a durabilidade e a segurança a longo prazo.

Ensino

A educação desempenha um papel vital na luta contra a corrosão. A ABRACO tem apoiado programas de ensino e formação de profissionais especializados no combate à corrosão e na proteção anticorrosiva, garantindo que o conhecimento continue sendo aprimorado.

O presidente da ABRACO, Neusvaldo Lira de Almeida, enfatiza: 55 anos é um marco muito importante na história da principal Associação de Corrosão da América Latina; mas a nossa jornada está longe de terminar. A corrosão é uma ameaça constante, mas é ao mesmo tempo o que une todos os profissionais ligados direta ou indiretamente aos processos de corrosão e proteção, pesquisadores e professores, enfim, todos os corrosionistas do Brasil. O compromisso da ABRACO com a conscientização, ensino e proteção é e será cada dia mais forte.

Parabéns à ABRACO e a todos os profissionais que ajudam a construir uma Associação cada vez mais forte.



Em meio às celebrações por seus 55 anos, nossa Associação lança nova marca

A ABRACO orgulhosamente apresenta a sua nova marca. A mudança representa um passo natural na trajetória de evolução e adaptação da entidade, que há 55 anos – completados no último mês de outubro – se dedica a difundir e desenvolver o conhecimento da corrosão e da proteção anticorrosiva, congregando profissionais, empresas e instituições da área.

Essas características da ABRACO estão, mais do que nunca, presentes em sua marca. O novo logo mantém as elipses sobrepostas com os sinais de mais e menos, representando reações químicas em ambientes corrosivos, mas com uma alteração significativa: os símbolos, em vez de se fundirem, agora estão encadeados, como elos de uma corrente. A intenção foi caracterizar conexão e força, bem como retratar a própria filosofia de união da ABRACO.

Outra diferença marcante é a tipografia. A fonte escolhida para a nova marca é mais arredondada que a anterior, contribuindo, assim, para um visual mais moderno. Além disso, a troca de uma cor sólida pelo gradiente do laranja ao vermelho, que simboliza o dinamismo da ABRACO no setor de corrosão, trouxe tridimensionalidade para o logo – sem contar que o deixou mais charmoso.

Por fim, vale destacar que a nova marca foi projetada para ter ótima visibilidade, seja em materiais impressos ou digitais, o que é crucial dentro da estratégia de comunicação da ABRACO com seus associados e parceiros. Cada passo foi pensado para que o logo tivesse “a cara” da Associação, respeitando seu legado, mas olhando para o futuro.

O projeto, desenvolvido ao longo de 5 meses, é de autoria da empresa Conceito Comunicação Integrada, que também assina o site da ABRACO.

Parceria de **sucesso** para **impulsionar** **sua carreira!**



A parceria entre a ABRACO e a CETAL Treinamentos
é uma grande oportunidade de elevar seus conhecimentos
e alavancar sua carreira profissional.

Entre em contato e saiba como ter acesso a programas de treinamento
abrangentes e de alta qualidade, projetados para impulsionar suas
carreiras e abrir portas para o mercado de trabalho.

www.cetaltreinamentos.com.br | www.abraco.org.br



A 6ª edição do Workshop de Galvanização: Experiências e Aplicações foi um sucesso!

O objetivo do evento foi disseminar a tecnologia da galvanização por imersão a quente (galvanização/zincagem a fogo) como técnica de combate à corrosão, apresentar os cases de sucesso do setor e esclarecer dúvidas sobre aplicações e especificações da galvanização.

O objetivo do evento foi disseminar a tecnologia da galvanização por imersão a quente (galvanização/zincagem a fogo) como técnica de combate à corrosão, apresentar os cases de sucesso do setor e esclarecer dúvidas sobre aplicações e especificações da galvanização.

O grande destaque vai para os participantes do evento, que estiveram engajados em aprender cada vez mais sobre a técnica, totalizando em **102 participantes** e, claro, para os palestrantes, que compartilharam insights valiosos com suas perspectivas únicas sobre diversos temas, como mercado do zinco, otimização do processo de galvanização, sustentabilidade na cadeia, boas-práticas, e muito mais.

O evento contou com as palestras:

- **Economia: Projeções 2024**
Roberto Padovani - Banco Votorantim
- **Mercado do Zinco e suas aplicações**
Daniele Albagli - Nexa Resources
- **Comparativo da galvanização e outros revestimentos com zinco**
Christian Canales - bbosch
- **Otimização do processo da galvanização a fogo**
Marco Antunes - Herwig
- **Os pré-tratamentos na galvanização a fogo**
Luis Galvão - Oxiprana
- **ESG na cadeia de valor do zinco: Ações para redução de emissão de carbono**
Adriana Valente - Nexa Resources

- **Aplicações de Galvanização em Desenvolvimento**

Ricardo Suplicy Goes - ICZ

- **Cases de Sucesso**

Christian Canales - bbosch

Foi incrível ver como nossa comunidade está empenhada em fomentar e disseminar a técnica da galvanização a fogo no Brasil!

Agradecemos aos nossos patrocinadores bbosch Galvanização do Brasil Ltda, Nexa Resources, International Zinc Association, Ztec Galvanizer, K.D. Feddersen, Oxiprana Química e Beretta Galvanização, palestrantes e participantes.

Todos foram responsáveis pelo sucesso do evento!

Juntos, estamos construindo um futuro cheio de soluções!



REALIZAÇÃO



Proteção do aço contra a corrosão

GALVANIZAÇÃO é a solução e a bbosch a sua melhor escolha!

A corrosão é um inimigo silencioso que ameaça seus produtos e em especial, estruturas metálicas, e que representa um ônus significativo para a economia global, estimando-se que 4% do PIB mundial é consumido com manutenção e perdas relacionadas à corrosão. A cada duas toneladas de aço produzidas, uma é necessária para substituir o aço corroído.

Por isso, a Galvanização por imersão a quente é sua melhor opção de revestimento para proteção contra a corrosão, pois ela prolonga a vida útil das estruturas, reduzindo tempos e gastos com manutenção em comparação à estruturas pintadas.

Além disso, o processo de galvanização possui características associadas a sustentabilidade pelo fato de aço e zinco serem recicláveis, o que torna o processo sustentável e amigo do meio ambiente.

A bbosch tem experiência acumulada para galvanizar por imersão a quente, e conta com as maiores e mais tecnológicas instalações da América Latina e está preparada para atender projetos especiais com elevados níveis de exigência com qualidade e confiabilidade.

O nosso sucesso está relacionado ao compromisso de uma equipe que está em constante evolução para proporcionar a melhor experiência para o cliente.

Com mais de 550.000 toneladas de produtos galvanizados, nossa performance é testemunho vivo da nossa dedicação à excelência. Cada peça é um reflexo do nosso compromisso com a durabilidade, a resistência e a proteção anticorrosiva.



EXCELÊNCIA NA GALVANIZAÇÃO A FOGO



Com o objetivo de **atender de forma eficiente** o **crescente mercado metalúrgico**, acreditando que **inovação, qualidade e pontualidade** são fatores essenciais para o atendimento com excelência, a **ZTEC** conta com matérias primas, **equipamentos de última geração** e uma equipe de profissionais altamente qualificados, o que garante a sua classificação como uma das mais otimizadas empresas do setor de galvanização por imersão a quente.



25 ANOS

DE QUALIDADE TÉCNICA
E PONTUALIDADE

CONHEÇA MAIS EM:

-  11 2632 5252 | 11 2632 5232
-  11 94171 5232
-  ztecmetais.com.br
-  Rua Benedita Dornellas Claro, N° 500
Vila Maria - Km 1,5 Dutra São Paulo - SP

Zinco Nexa

Produzido com uma das menores emissões de carbono do setor de mineração

Sabemos do **impacto ambiental, social e econômico** que o zinco exerce na sociedade, pois está presente em diversas aplicações no dia a dia das pessoas. Hoje, em um mundo onde as práticas sustentáveis são fundamentais, é preciso pensar em alternativas para reduzir ao máximo a degradação ambiental.

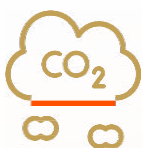
A produção de zinco da Nexa tem uma das **menores pegadas de carbono** do setor de mineração, com uma intensidade de emissão de **0,36 toneladas de CO₂** por tonelada de zinco e óxido de zinco vendida.

Nosso inventário de emissões segue a metodologia do **Protocolo GHG** e estamos **reduzindo nossas emissões de gases de efeito estufa (GEE)** ano após ano.

Como fazemos isso?

74% de nossa matriz energética provém de fontes renováveis, como gás natural e biomassa, desempenhando um papel significativo em nossos esforços de sustentabilidade. Inclusive, realizamos acordos comerciais para o uso de energia **100%** renovável no Brasil e no Peru.

Compromissos ESG: Descarbonização



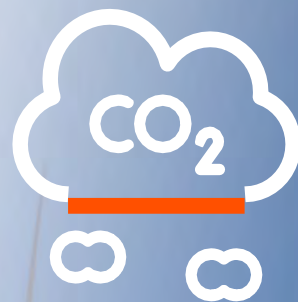
Alcançar uma redução de 20% nas emissões de Escopo 1 (equivalente a 52.000 toneladas de CO₂) até 2030, garantindo que as fontes de energia da Nexa permaneçam predominantemente renováveis.



Alcançar a neutralidade de emissões até 2040.



Alcançar zero emissões líquidas até 2050, em alinhamento com o Acordo de Paris.



MINERAÇÃO
QUE **MUDA** COM O
MUNDO

Acesse a nossa
página ESG para
mais informações



nexa



PROTEÇÃO DO AÇO PARA GERAÇÕES!

Há mais de 40 anos a Beretta é sinônimo de excelência em galvanização a fogo. A planta moderna, situada na Região Metropolitana de Porto Alegre/RS, conta com uma das maiores capacidades do Brasil, e atende até **150t de aço galvanizado por dia!** Nosso compromisso é com a qualidade, o comprometimento e o atendimento diferenciado. Conheça mais no site:

 beretta.com.br



e/perfil/design

 **K.D. FEDDERSEN**
UEBERSEEGESELLSCHAFT

 **W. PiLLiNG**

Eficiência

Tecnologia

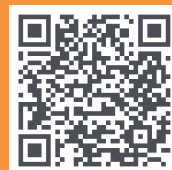
Sustentabilidade

- ▶ Desengraxantes ácidos
- ▶ Inibidores
- ▶ Fluxos
- ▶ Ligas de zinco
- ▶ Níquel em pó e tabs
- ▶ Cubas para galvanização
- ▶ Bombas de zinco

 info.br@kdfeddersen.global

 www.kdfeddersen.global

 +55 (11) 5542-4921



LinkedIn



EMPRESAS 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
www.brasil.aperam.com

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

CEPEL - CENTRO PESQ. ENERGIA ELÉTRICA
www.cepel.com.br

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

DE NORA DO BRASIL LTDA.
www.denora.com

DEEPWATER DO BRASIL ENGENHARIA LTDA.
www.stoprust.com

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A
www.furnas.com.br

G P NÍQUEL DURO LTDA.
www.grupogp.net

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

ICM METAIS
<http://site.icm.ind.br/>

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

INSTITUTO SENAI DE INOVAÇÃO
EM ELETROQUÍMICA – ISI – EQC
www.senaipr.org.br/tecnologiaeinovacao/nossarede/eletroquimica/

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

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

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

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

PRESSERV DO BRASIL LTDA.
www.cortecpresserv.com.br

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

RENNER HERRMANN S/A
www.renner.com.br

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

TINÔCO ANTICORROSÃO LTDA.
www.tinocoanticorrosao.com.br

W&S SAURA LTDA.
wsequipamentos.com.br

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

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



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

Biblioteca: biblioteca@abraco.org.br

CB-43: cb43@abraco.org.br

Comunicação: marketing@abraco.org.br

Eventos: eventos@abraco.org.br

Financeiro: financeiro@abraco.org.br

Gerência Geral: gerenciageral@abraco.org.br

Presidência: presidencia@abraco.org

Qualificação e Certificação: qualificacao@abraco.org.br

Treinamentos: cursos@abraco.org.br