

Corrosão & Proteção

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

Ano 19 | n° 78, set./out./nov./dez 2023

Proteção Catódica

Um escudo invisível contra a 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

Adauto 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.

Nesta edição

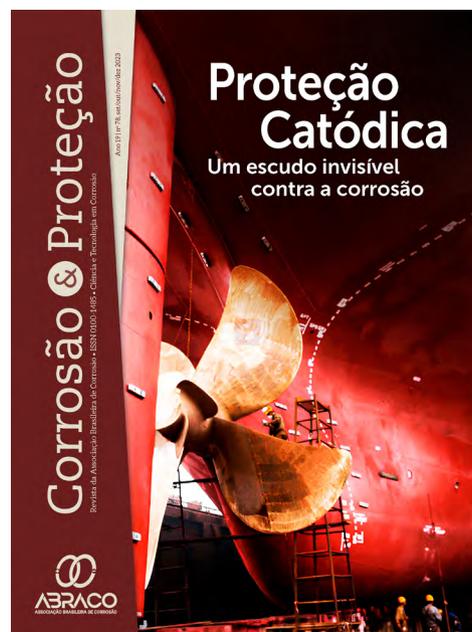
03 Editorial

04 Espaço da empresa associada

15 ARTIGO TÉCNICO
Aprimoramento da medição de potenciais em estruturas de concreto
Felipe da Silva Barreto; Marco Aurélio C. Ferro e Manuel Fernando Sousa Ferreira dos Santos

26 ARTIGO TÉCNICO
Anodos Galvashield de Proteção Catódica para os Serviços de Reabilitação de Estruturas de Concreto Contaminadas por Cloretos
Luiz Paulo Gomes

36 Empresas associadas



Proteção Catódica

Prezados leitores,

É com honra e entusiasmo que apresentamos a mais recente edição da revista “Corrosão e Proteção”, dedicada ao tema fundamental da Proteção Catódica. Sob o título “Proteção Catódica: O Escudo Invisível contra a Corrosão”, esta edição visa explorar e celebrar os avanços, desafios e oportunidades associados a essa importante técnica de preservação contra a corrosão.

A corrosão continua a representar um dos maiores desafios enfrentados por indústrias e infraestruturas em todo o mundo. Suas ramificações são vastas e abrangem não apenas considerações financeiras, mas também questões de segurança, sustentabilidade e confiabilidade. Neste contexto, a Proteção Catódica emerge como uma ferramenta indispensável, oferecendo uma defesa robusta e duradoura contra os efeitos corrosivos do ambiente.

Nesta edição, convidamos a todos os leitores, a explorar as páginas dedicadas à Proteção Catódica, onde serão apresentadas artigos e perspectivas visionárias sobre o tema. Ao fazê-lo, esperamos que esta edição o ajude a desenvolver uma compreensão mais profunda da importância vital da Proteção Catódica e de como desempenha um papel essencial na preservação de nossos ativos e recursos.

O Conselho Editorial da revista “Corrosão e Proteção” está empenhado em oferecer conteúdo de alta qualidade, relevante e impactante para os nossos leitores. Nesta edição, reafirmamos nosso compromisso com a excelência e a inovação, sempre buscando elevar o padrão de conhecimento e práticas em nosso campo.

Em nome de toda a equipe, convido você a se juntar a nós nesta jornada de descoberta e aprendizado. Que esta edição inspire e informe, capacitando-o a enfrentar os desafios da corrosão com confiança e determinação.

À medida que nos aprofundamos neste tema complexo e vital, gostaria de registrar o meu privilégio como presidente da Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO), em participar de todo este processo.

Boa leitura!

Neusvaldo Lira de Almeida

Presidente da ABRACO



ANÁLISE COMPARATIVA DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS 410/ENDUR300, 304, DUPLEX E AÇO-CARBONO ASTM A36, EM MEIO DE ADUBOS ORGÂNICOS UTILIZADOS COMO FERTILIZANTES LÍQUIDOS

Vitor Pagani de Souza^a
Hercílio G. de Melo^b
Wilmar Calderon-Hernandez^b

^aAperam Soth America

^bPMT-EPUSP

Introdução

O Agronegócio é o maior business da economia brasileira e do mundo, sendo uma das principais locomotivas do progresso do país. A produção agropecuária vem se desenvolvendo de tal forma que o país se apresenta como o grande fornecedor de produtos agrícolas do futuro e a pecuária se posiciona como uma grande geradora de valor. O presente trabalho, realizado em parceria com pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), permitiu gerar informações relevantes que servirão de base para a seleção de materiais para diversas aplicações que interajam com dejetos/adubos animais, muito utilizados como fertilizantes líquidos para o solo.

Materiais e Métodos

O procedimento experimental consistiu em submeter amostras de aços laminados a quente a ensaios eletroquímicos de polarização e

imersão. Uma solução bruta de adubos suínos (dejetos gerados por animais confinados) foi utilizada para os ensaios. Os aços inoxidáveis foram selecionados com base nas suas diferentes características, em adendo à comum elevada resistência à corrosão, sendo o 304 o aço austenítico mais conhecido e empregado no mercado, o duplex um dos aços mais nobres e o 410 como o inoxidável de melhor relação custo-benefício para o setor do agronegócio. O A36 (não pintado), o aço-carbono estrutural largamente utilizado no mercado, foi avaliado de forma comparativa aos inoxidáveis. A Figura 1 mostra o aparato utilizado para realização dos ensaios que simularam as condições de campo.

Resultados e Discussões

A análise físico-química do dejetos suíno bruto sinalizou presença de 9,2 g/L de sólidos dissolvidos, teor de cloretos em torno de 700 mg/L e outros elementos em menores proporções.

Na Figura 2 são mostradas as curvas de polarização anódica para os 4 materiais em solução líquida de adubo animal bruto. Os ensaios foram realizados após 24 horas de imersão, de modo a permitir a interação da solução com os diferentes materiais.

Verifica-se pela análise da Figura 1 que os materiais se dividiram em 2 grupos, aços

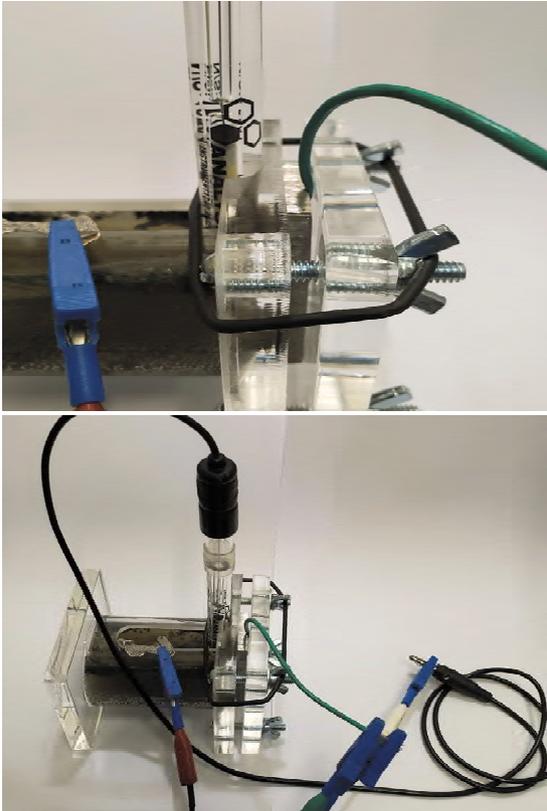


Figura 1 - Arranjo eletroquímico montado para realização dos ensaios, composto de células de acrílico, eletrodo de referência, contra eletrodo de platina e eletrodo de trabalho.

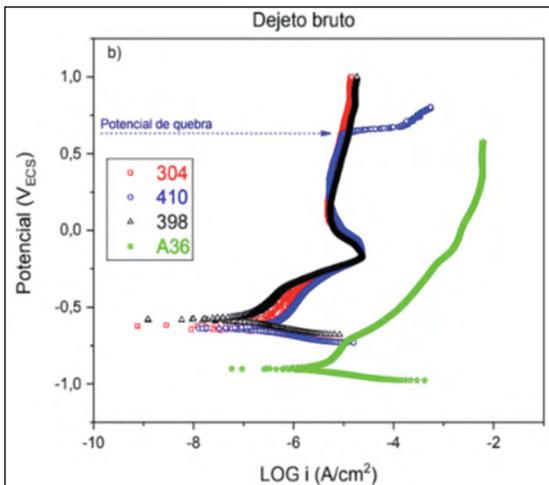


Figura 2 - Curvas de polarização potenciodinâmica após 24 h de imersão em dejetos brutos.

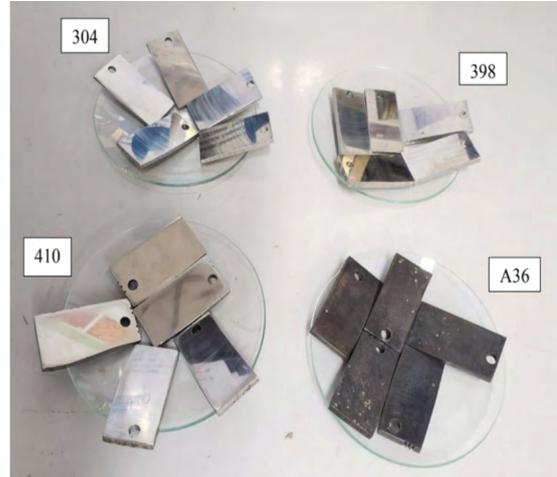


Figura 3 - Aspecto das amostras após ensaios de imersão em dejetos brutos.

inoxidáveis se mantendo passivos e o aço-carbono no estado ativo (corrosão). Ao final dos ensaios, não foi identificado nenhum sinal de corrosão generalizada aparente na superfície dos corpos de prova de 410, 304 e duplex, em contrapartida, o A36 apresentou uma superfície totalmente recoberta por óxidos (Figura 3).

O 410 foi o único inoxidável a apresentar início de corrosão localizada (pite) nos ensaios eletroquímicos, o que era esperado devido ao seu teor de cromo mais baixo em relação ao 304 e duplex e presença de cloretos na solução de dejetos brutos. No entanto, as condições de ensaio precisaram ser levadas a níveis muito oxidantes para que isto se verificasse, além do que, esta ocorrência de pites foi observada apenas em alguns ensaios isolados.

Para fins comparativos, nas condições de extrema agressividade em que o aço 410 pode sofrer corrosão por pites, o aço-carbono apresentaria taxas de corrosão generalizada em torno de 1000 vezes mais elevadas.

Ainda que o 410 trabalhasse fora de sua região de passividade (sofrendo corrosão localizada), o A36 seria no mínimo 3 vezes inferior em termos de taxa de corrosão, e isso se aplicaria a qualquer inoxidável. Na Figura 4 são mostradas amostras de 410 e A36, após 45 dias de imersão e subsequente exposição ao

ar. Verifica-se que o inoxidável manteve sua superfície brilhante enquanto o A36 sofreu corrosão acentuada. Este filme de óxido formado na superfície do aço-carbono é de fácil remoção e favorece à perda de espessura do material.

A pintura é um processo empregado para que equipamentos e estruturas construídos em aço-carbono tenham vida útil um pouco mais prolongada. No entanto, torna-se uma medida frágil de proteção, visto que qualquer danificação desta camada de tinta, como por ação abrasiva de pedras, partículas de areia, etc. pode provocar uma corrosão localizada ainda mais acelerada, levando o equipamento à falha precoce.

Conclusão

A corrosividade de adubos orgânicos se mostrou significativamente mais expressiva para o aço-carbono do que para os aços inoxidáveis, que se mantiveram passivos durante todos os ensaios.

O aço duplex apresentou a maior resistência, contudo, os aços inoxidáveis de menor teor de cromo, como o aço 410, já são capazes de assegurar uma vida útil muito superior a equipamentos e/ou estruturas em contato com adubos orgânicos. Considerando que, antes do processo de aspersão do adubo bruto no selo pode haver uma fase de diluição em água, o aço-carbono poderá ter sua taxa de corrosão intensificada enquanto o inoxidável será favorecido.

ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFORMANCE DE EQUIPAMENTO TRANSPORTADOR DE GRÃO TIPO ROSCA HELICOIDAL FABRICADO EM AÇO INOXIDÁVEL 410 VS. AÇO CARBONO ASTM A36 PARA O SETOR DE AGRONEGÓCIO

Vitor Pagani de Souza^a
Willian da Silva Labiapari^a

^aAperam Soth America

Introdução

Nas últimas quatro décadas, o agronegócio brasileiro se alavancou de tal forma que o Brasil se apresenta como o grande fornecedor de alimentos do futuro. O setor é reconhecido como um vetor crucial do crescimento econômico do país, produzindo cada vez mais, enfrenta desafios de competitividade cada vez maiores demandando redução nos custos de produção e manutenção dos processos.

Corrosividade do Meio

Os aços atualmente empregados no setor de agronegócio, em sua maioria aços-carbono convencionais, não oferecem boa performance aos equipamentos devido a sua baixa resistência à

corrosão. Estes geralmente já partem com uma grande sobre-espessura e ainda são pintados previamente, como tentativas de proporcionar uma vida útil mais satisfatória. No entanto, além de agregar custo, estas são medidas frágeis de proteção.

Segundo Gentil (1996), a presença de água, ainda que na forma de uma fina película de umidade formada na superfície do metal, impacta drasticamente na taxa de oxidação do aço-carbono.

Considerando um teor típico de umidade mínima de 9 % dos grãos durante seu processamento, os fenômenos de corrosão e desgaste formam o mecanismo responsável pela degradação de estruturas e equipamentos em meios úmidos. A ação sinérgica deste binômio, corrosão-desgaste, ocorrendo de forma simultânea, causa maior dano do que seria a soma destes atuando isoladamente.

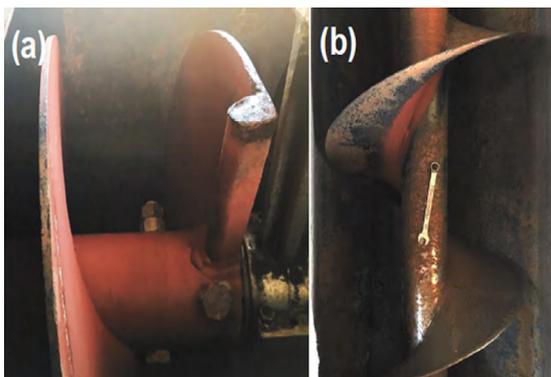


Figura 1. Transportador de rosca helicoidal para grãos fabricado em aço carbono pintado(a) detalhe do eixo e rosca antes do uso e (b) após 1 safra de uso.



Figura 2. Rosca helicoidal (a) em aço carbono totalmente corroída e (b) rosca em aço inox 410 ainda brilhante após período de utilização.

Aço inoxidável vs. Aço-carbono

Tanto a pintura quanto os óxidos formados na superfície do aço-carbono são de fácil remoção, sendo que os próprios grãos processados, ao se deslocarem sobre a superfície do equipamento, atuam como agentes abrasivos e realizam esta ação. Este ciclo de formação e remoção de óxidos ocorre constantemente e levando à falha precoce do aço-carbono, o que não ocorre para o inoxidável.

A corrosão dos equipamentos em aço-carbono se manifesta de forma generalizada em toda sua extensão, no entanto, a região das extremidades da rosca, onde os mecanismos de desgaste atuam mais fortemente, se desgasta da forma mais rápida. Este desgaste gera um “afinamento” e “encurtamento” precoce das facas responsáveis pela condução da carga de grãos, diminuindo a produtividade e gerando problemas operacionais para as usinas.

A diminuição da vazão provocada pelo desgaste das facas gera um “volume morto” de grãos em regiões de difícil acesso (como fundos e cantos), podendo criar condições de corrosão ainda mais intensas na superfície metálica logo abaixo destes depósitos.



Figura 3. Extremidade da (a)rosca de aço carbono com desgaste severo e (b)rosca de inox com espessura preservada e aspecto ainda brilhante após período de uso.

Em contrapartida, a rosca fabricada em aço inoxidável 410 mostrada nas fotos, já partindo de uma espessura mais fina (sem sobre-espessura) e sem pintura, apresentou desgaste inexpressivo durante longo período de uso e ainda preservava sua superfície lisa e brilhante.

Nesta linha, não sofrendo significativa corrosão neste meio, o inoxidável apresenta menores perdas de espessura para as mesmas condições. Ensaios de laboratório desenhados especificamente para as condições agressivas do agronegócio evidenciam a superioridade dos aços inoxidáveis ferríticos em relação ao aço-carbono ASTM A36 em presença de corrosão e desgaste combinados.

O aço Endur300, produto inovador da Aperam, combina resistência ao desgaste e à corrosão. Suas propriedades proporcionam um excelente desempenho em ambientes úmidos, com grande potencial para se tornar uma solução promissora para problemas com corrosão e desgaste no agro.

Conclusão

Aços inoxidáveis, como o ferrítico 410, possuem grande potencial para aumentar a performance de equipamentos transportadores de grãos, através da diminuição dos custos com manutenção e de paradas de processos, reduções de espessura/peso e aumento de vida útil.

Além do impacto da corrosão na manutenibilidade, fatores como contaminação metálica e assepsia no trato de produtos com grau alimentício também contribuem para a recomendação do inoxidável para a confecção de máquinas e equipamentos que interagem com grãos.

Referências

Gentil, Vicente. Corrosão. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos Científicos Editora S.A.

COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS AISI 430 X AISI 410 EM MEIOS ESPECÍFICOS

Marcel Brito, Tiago Lima, Victor Cascaes.

DATA: Maio, 2024.

APERAM SOUTH AMERICA com IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo).

Ref. Projeto: FALCON

Introdução

Com intuito de comparar a resistência à corrosão de várias ligas de aços inoxidáveis, a Aperam, em parceria com o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo), realizou diversos ensaios de corrosão de forma a diferenciar a performance dos aços inoxidáveis 430 e 410.

Diversos ensaios foram realizados, sendo o primeiro apresentado aqui o teste de névoa salina que é um método de teste de corrosão padronizado e um dos mais populares mercado visando comparar a resistência à corrosão relativa dos aços inoxidáveis em teste de corrosão acelerado.



Esse ensaio compara a resistência à corrosão relativa dos aços na presença de cloreto. A Figura 2 apresenta o aspecto dos corpos de prova depois de 30 dias de exposição.

Pode-se verificar que o aço 410 é muito inferior ao aço 430 neste ensaio. Isto devido à diferença de cromo em sua composição química, sendo este, o principal elemento na proteção contra corrosão. Vale ressaltar que na primeira semana de ensaio já foram evidenciados os pontos de corrosão no aço 410.

O segundo ensaio apresentado, é o ensaio de imersão em hipoclorito de sódio, conhecido

Materiais e métodos

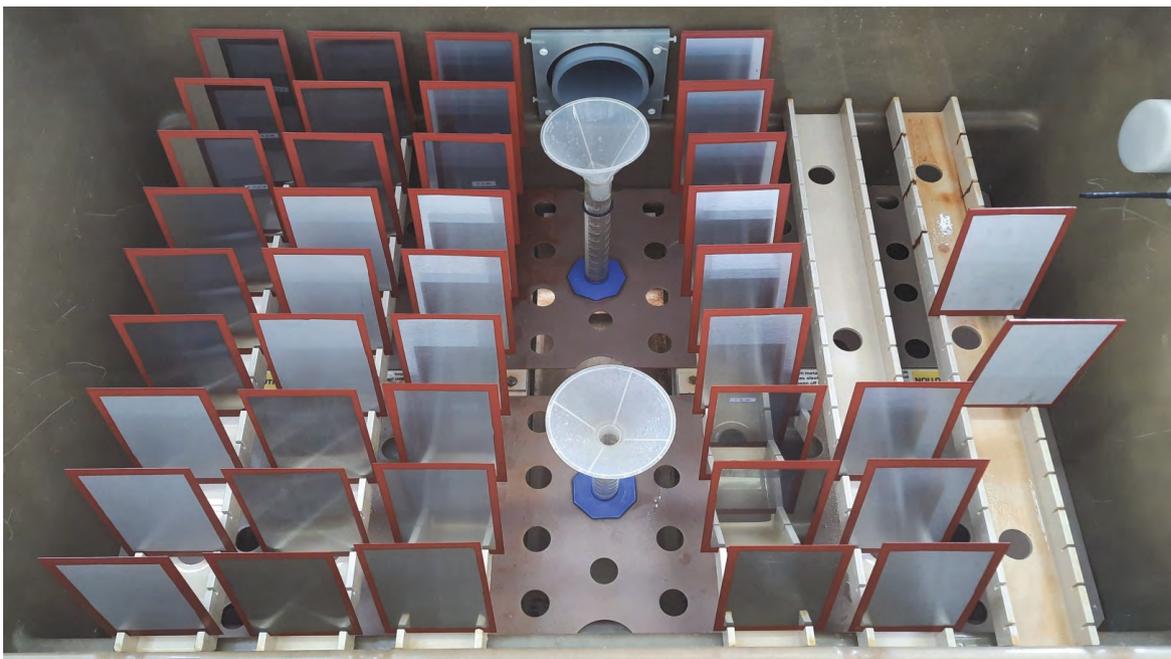


Figura 1 - Ensaio dos aços inoxidáveis em câmara de névoa salina.

Resultados



Figura 2 - Aspecto dos corpos de prova dos aços 430 2B e 410 2B, ensaiados após 30 dias de exposição em câmara de névoa salina.

Materiais e métodos

PRODUTO	INFORMAÇÃO DO PRODUTO
 <p>Hipoclorito de Sódio a 2,5%</p>	<p>FINALIDADE: O hipoclorito de sódio, conhecido popularmente como água sanitária ou cândida, é utilizado para limpeza e desinfecção.</p> <p>ORIGEM: Adquirido em supermercado, tendo sido escolhida aleatoriamente e embalagem de 2L, mostrada na figura.</p> <p>DILUIÇÃO Na embalagem constava a concentração de hipoclorito como sendo de 2,5%. Esse produto foi utilizado sem diluição, visando acelerar o processo corrosivo.</p> <p>pH INICIAL DO PRODUTO: 12,32.</p> <p>pH APÓS OS ENSAIOS DE IMERSÃO: 8,72/0,29.</p> <p>OBS: O produto apresentava sólidos escuros em suspensão e foi utilizado sem filtração para representar uma situação real.</p>

Tabela 1 - Informações sobre Água Sanitária (Hipoclorito de sódio a 2,5%).

popularmente como água sanitária ou Cândida. Tal produto químico é utilizado tanto em residências como industrialmente para limpeza e esterilização. O ensaio de imersão foi realizado no composto na concentração recebida do mercado (2,5% de hipoclorito de sódio) durante 13 dias.

O ensaio completo foi realizado em 13 dias, porém foi possível identificar a diferença de performance entre os aços 430 e 410 no primeiro dia. Após 24 horas de ensaio, o corpo de prova

de 410 já apresentava sinais de corrosão na fresta, enquanto o 430 ainda não apresentava produtos de corrosão.

Após os 13 dias de ensaios podemos ver como o meio é agressivo a ambas as ligas, porém o 430 demonstra maior resistência e um aspecto menos corroído. Note que além da corrosão esperada nas frestas geradas artificialmente para acelerar o ensaio, a corrosão em toda a face do corpo de prova é acentuada no 410.

Resultados

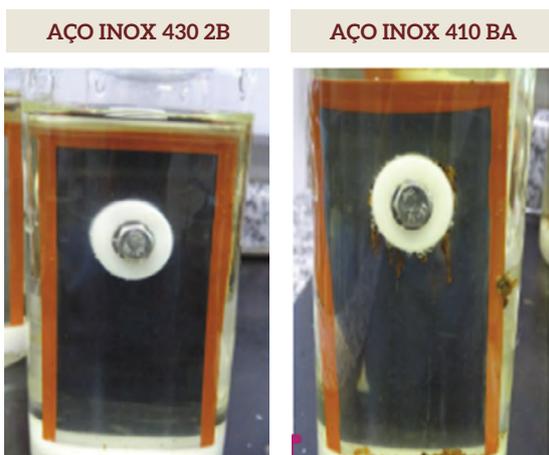


Figura 3 - Aspecto dos corpos de prova dos aços 410 e 430 após 1 dia de ensaio.

Este ensaio enfatiza a importância da correta especificação de aços para que não se tenha perdas no desempenho no produto final.

Materiais e métodos

O ensaio de hoje é o de imersão em Divosan Forte 0,5%, um produto de limpeza comumente utilizado pelo mercado e de caráter ácido.

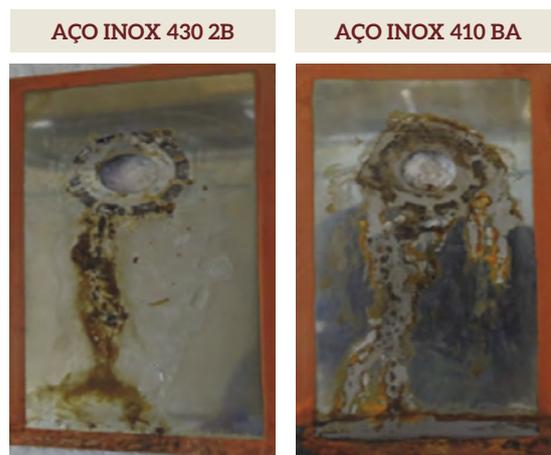


Figura 4 - Aspecto dos corpos de prova dos aços 410 e 430 após 13 dias de ensaio.

Os aços ferríticos são uma família que está mais sujeita à corrosão em meios ácidos. A ausência de Níquel nestes aços, reduz seu potencial de passivação nestes meios os tornando mais suscetível à falha. Abaixo podemos ver o pH de despassivação em função do PREN (composição da norma ASTM A240/A240M).

PRODUTO	INFORMAÇÃO DO PRODUTO
 <p>Divosan Forte 0,5%</p>	<p>FINALIDADE: Desinfetante, à base de ácido peracético (mistura em equilíbrio de peróxido de hidrogênio, ácido acético e água), destinados à indústria alimentícia e afins. Pode ser utilizado como substituto do hipoclorito de sódio, uso autorizado pela Portaria nº15 de 23/08/1988 da ANVISA.</p> <p>ORIGEM: Adquirido diretamente do fornecedor do produto. A embalagem era de 5L. Diluição: na embalagem do produto constava tratar-se de ácido peracético a 15% com indicação de diluição para diversos tipos de aplicação. Foi utilizada a concentração de 0,50% que é indicada para aplicação por imersão.</p> <p>pH INICIAL DO PRODUTO: 3,36.</p> <p>pH APÓS OS ENSAIOS DE IMERSÃO: 3,95/007.</p> <p>OBS: foi selecionado por ser um produto de limpeza de caráter ácido.</p>

Tabela 2 - Informações sobre Divosan Forte 0,5% (Desinfetante).

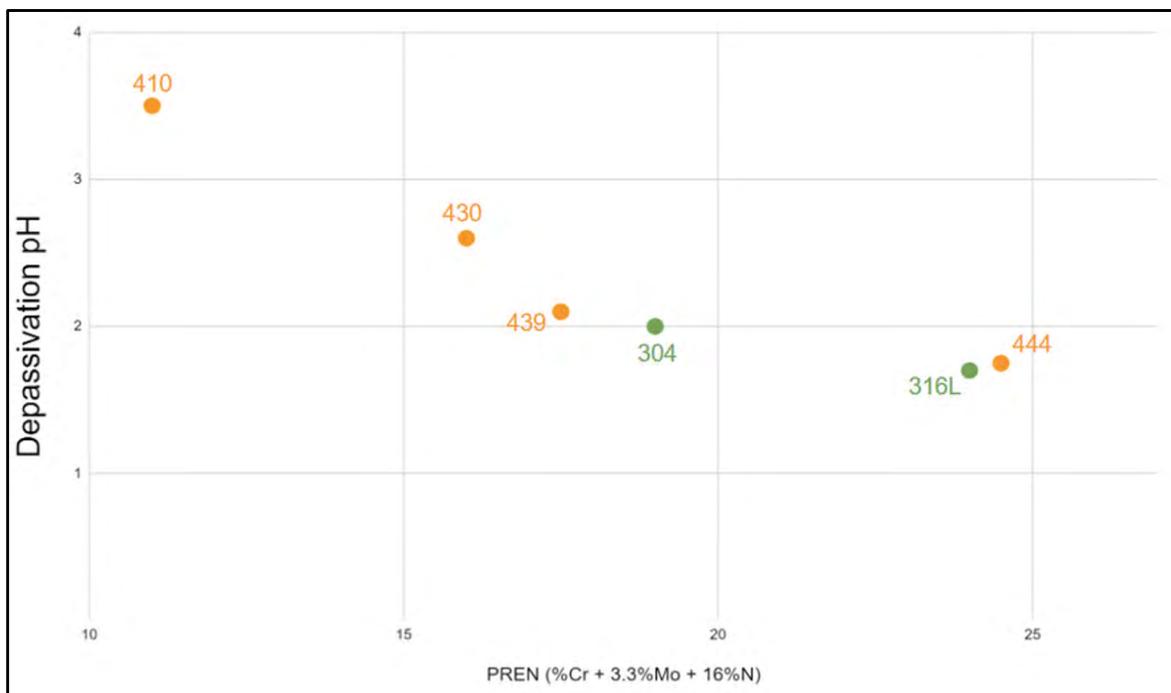


Figura 5 - pH de despassivação de vários aços inoxidáveis em NaCl 2M (71g/L Cl-) não aerado e acidificado com HCl at 23°C.

O comportamento do aço 430 em imersão em Divosan foi superior ao aço 410, que já no primeiro dia apresentou sinais de produtos de corrosão sendo formados.

Após os 30 dias de ensaio e já sem o dispositivo gerador de fresta, fica clara a performance

de ambos os aços. Como esperado, tanto o 430 quanto o 410 sofreram corrosão na região de fresta, onde o pH pode cair muito mais que o pH da própria solução. Porém o aço 410 apresentou mais frestas corroídas que o aço 430. Este fator é devido ao teor de cromo reduzido no 410, o tornando um aço menos nobre.

Resultados

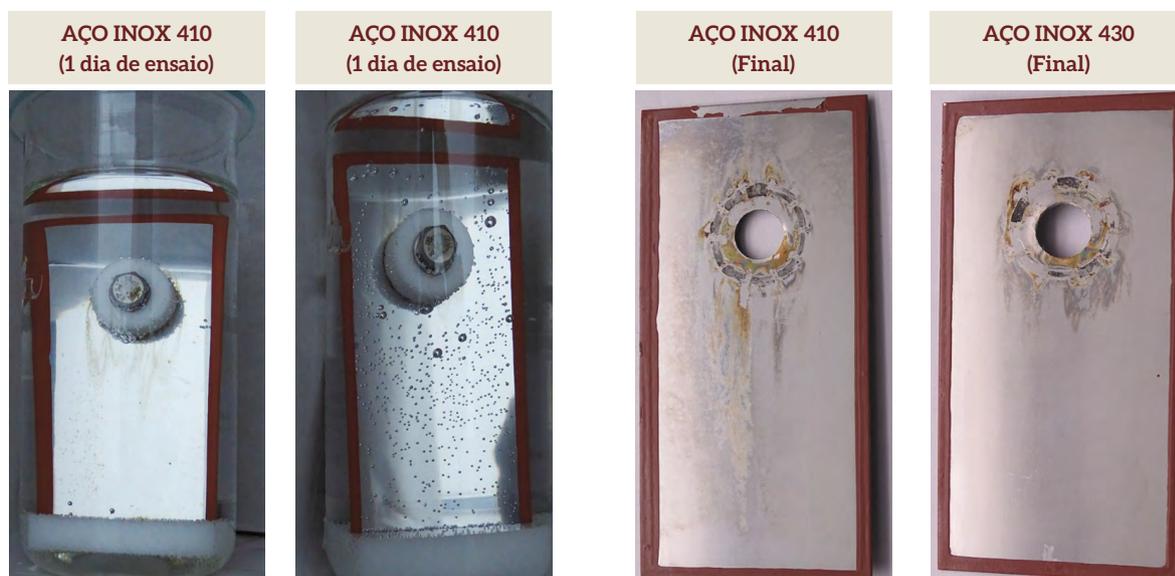


Figura 6 - Resultado de Imersão em Divosan 0,5% para o 410.

Na tabela abaixo podemos ver a diferença do número PREN que relaciona a resistência à corrosão por pites destes aços.

Tabela 3 - Composição química de aços inoxidáveis 430 Aperam x 410 encontrado no mercado.

AÇO INOX	ACABAMENTO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA %m/m						PREN
		Cr	Mo	N (ppm)	C	Ni	Cu	
430 Aperam	2B	16,16	0,01	495	0,05	0,21	0,02	16,19
410 encontrado no mercado	BA	12,38	0,01	315	0,01	0,1	0,06	12,41

Agora será mostrado o ensaio de Salt Spray (Névoa Salina) na aplicação, em específico em aplicações de talheres de inox 430 x talheres de inox 410. Após 48 horas já foi possível

visualizar a diferença representativa de resistência à corrosão das duas ligas, justificada pelo maior teor de cromo do inox 430 na faixa de 16% enquanto o inox 410 possui na faixa de 12%.

Resultados



Figura 7 - Talheres de 430 e 410 após ensaio de Névoa Salina.

Tabela 4 - Composição química dos talheres de 430 Aperam x 410 encontrado no mercado.

AÇO INOX	Cr (%)	Ni (%)	C (%)	P (%)	S (%)	Mn (%)	Mo (%)	Cu (%)	N (ppm)	PREN
430	16,4	0,21	0,05	0,02	0,001	0,48	0,02	0,08	374	16,52
410	12,5	0,1	0,02	0,02	0,002	0,7	0,014	0,014	155	12,57

Na Tabela 4 pode-se observar a diferença representativa de composição química entre os dois aços, chamando atenção na diferença de teor de cromo que reflete diretamente no PREN (Número equivalente de resistência ao pite). O cálculo é feito com base na composição química mostrando a superioridade causada pelo maior teor de cromo no 430.

Conclusão

Conforme aferiu o IPT através dos ensaios de corrosão e parecer técnico, o aço inox 410 é contraindicado em meios representativos de aplicações em cozinhas industriais, utensílios domésticos, talheres, mesas de fogões e revestimentos em geral, pois além da baixa performance de resistência à corrosão em todos ensaios realizados (produtos de limpeza e alimentícios) realizados no IPT, apresenta um grande agravante: a corrosão aumenta a rugosidade superficial dos aços inoxidáveis. Esse aumento da rugosidade de um lado dificulta a repassivação e, de outro lado, favorece a aderência e crescimento de bactérias, representando riscos à saúde.

O aço 410 tem sido comercializado no mercado brasileiro como substituto para algumas aplicações do tradicional aço 430 o que pode

apresentar um risco de performance na aplicação e requer cuidados, por possuir aspecto visual e acabamento muito semelhantes e por ter um custo mais baixo em função de menor quantidade de cromo (Cr) em sua composição química. Isso explica também o seu pior desempenho em termos de resistência à corrosão em comparação ao 430 nos ensaios que a Aperam realizou em parceria com o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo).

Referências

Gentil, Vicente. Corrosão. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos Científicos Editora S.A.

*2B: Acabamento brilhante conforme norma ASTM A480/A480M

*BA: Acabamento brilhante conforme norma ASTM A480/A480M

*NR4: Acabamento lixado / escovado conforme norma ASTM A480/ A480M

Para mais informações
acesse o site
Inox de Verdade.



APRIMORAMENTO DA MEDIÇÃO DE POTENCIAIS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Felipe da Silva Barreto¹; Marco Aurélio C. Ferro² e Manuel Fernando Sousa Ferreira dos Santos³

Universidade Federal Fluminense (UFF), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)
fsbarreto@id.uff.br; marcoferro@id.uff.br; manuelfernando@id.uff.br

1. Especialista em proteção catódica, Mestrando em Engenharia Civil pela UFF
2. PhD em Engenharia Civil, Professor no Programa de Pós-graduação de Engenharia Civil pela UFF
3. Especialista em recuperação e reforço estrutural, MSc em Engenharia Civil pela UFF

Introdução

O artigo descreve a metodologia de medição de potenciais eletroquímicos em uma estrutura de concreto armado, onde as diferenças de potenciais geradas pela corrosão ativa que permite a degradação das armaduras ou pela existência de um sistema de proteção catódica implantado, pode ser verificada através dos pontos de medição.

É de suma importância conhecer a extensão do processo de corrosão estudado. Através do mapeamento dos potenciais pode-se definir as áreas de corrosão ativa, utilizando as técnicas corretas. Após a instalação de um sistema de proteção catódica, realiza-se novamente a medição dos potenciais elétricos para comparação e monitoramento de controle da corrosão.

A leitura pode ser feita com o acesso através de perfurações e cortes no concreto, no caso de estruturas não preparadas, ou pode ser realizada através de caixas de medição pré-instaladas na face do concreto. Essa definição pode ser elaborada durante a fase do projeto, assim como o posicionamento e o número de pontos verificados.

De maneira similar a técnica de proteção catódica, a previsão de instalação de pontos de medição de potenciais eletroquímicos durante a fase de projetos se tornou mais comum em dutos, tanques e estruturas metálicas afins. Porém isto não impede que novas estrutura de concreto, principalmente aquelas que irão estar expostas a um ambiente agressivo, possuam pontos para futuras medições de potenciais eletroquímicos.

The analysis of the potential difference in concrete structures needs to be observed by the professionals involved in the various stages of a building, whether in the design of a new structure or at different ages throughout its useful life, through a safe method of identifying the degradation of its reinforcement by the most deleterious agents. The subject deserves to be highlighted not only because of the limited knowledge in the various construction production chains, but mainly because of the minimization of maintenance costs throughout the useful life of any reinforced concrete structures. The reading of electrochemical potential can be measured more objectively if the installation of measuring points is initially planned in the project. However, the method allows observation during use of the structure, but access is not always easy. The installation of permanent potential measuring boxes makes it possible to measure the electrochemical potential at any time for future readings.

Keywords: cathodic protection; electrochemical potential; potential measurement boxes

A análise da diferença de potencial nas estruturas de concreto, precisa ser observada pelos profissionais envolvidos nas diversas etapas de uma edificação, seja no projeto de uma nova estrutura, bem como em idades diferentes ao longo de sua vida útil, através de um método seguro de identificação da degradação de suas armaduras pelos mais deletérios agentes. O assunto merece destaque não só pelo reduzido conhecimento nas diversas cadeias produtivas da construção, mas principalmente pela minimização dos custos de conservação ao longo da vida útil de quaisquer estruturas de concreto armado. A leitura do potencial eletroquímico pode ser medida de modo mais objetivo, se a instalação de pontos de medição for prevista inicialmente no projeto, entretanto o método permite a observação durante a utilização da estrutura, mas o acesso nem sempre é dos mais fáceis. A instalação de caixas de medição de potenciais permanentes, possibilitam a mensuração em qualquer momento para futuras leituras do potencial eletroquímico.

Palavras-chave: proteção catódica; potencial eletroquímico; caixas de medição de potenciais

Esta definição ajudará no acompanhamento do potencial de corrosão das armaduras, em caso de elementos estruturais já projetados com sistema de proteção catódica será possível acompanhar o funcionamento e a vida útil do sistema.

Ainda hoje a construção civil utiliza, em sua maioria, a combinação entre o aço e o concreto em elementos estruturais. Neste contexto, a busca pela qualidade e desempenho da estrutura em serviço é fator imprescindível para o prolongamento da vida útil dos componentes dos mais diferentes tipos de estruturas. Para tal coisa faz-se necessário proteger o elemento estrutural de agentes externos, principalmente se a peça se encontra em um ambiente agressivo, onde a armadura possa ser fortemente atingida por agentes externos, como por exemplo os cloretos (MARTINS; PANOSSIAN, 2019).

A premissa básica é a demonstração que qualquer que seja a idade da estrutura, seu

potencial eletroquímico pode ser mensurado, desde que seja realizado da maneira adequada, seguindo os parâmetros determinados nas normas vigentes. A instalação de caixas de medição de potenciais eletroquímicos permanentes, facilitam as operações, minimizam o custo de manutenção e, conseqüentemente, pode prolongar a vida útil da estrutura monitorada.

Metodologia

Corrosão do aço em estruturas de concreto

“A corrosão de armaduras em estruturas de concreto constitui um dos problemas de maior recorrência no contexto da Patologia das Construções. Atualmente é crescente, e de certa forma relevante, a mobilização de vários segmentos da engenharia civil no sentido de combater este fenômeno tão danoso e que tantos prejuízos econômicos traz para a sociedade de uma forma geral.” (CASCUDO; HELENE, 2001, p.02).

De maneira genérica é chamado de corrosão em concretos, os processos corrosivos que se ocorrem nas barras de aço-carbono utilizadas nas estruturas de concreto, ou seja, corrosão da armadura. A deterioração da estrutura em razão da corrosão é comumente observada em estruturas expostas a atmosfera, principalmente em ambientes classificados como agressivos (SANTOS; LONGO; BARRETO, 2020).

Em seu estado inicial as armaduras dentro do concreto são protegidas contra a corrosão pelo fenômeno da passivação do aço, desde que estejam em condições favoráveis. Em ambientes com a alcalinidade a níveis normais, forma-se na superfície das barras de aço uma camada microscópica impermeável de óxido de ferro, chamada de película passivadora (Figura 1). Essa película tende a proteger a corrosão no aço, caso não haja contaminações (FUSCO, 2008).

No entanto, o concreto possui porosidade decorrente da presença de vazios existentes em sua composição, como resultado dessa porosidade pode ocorrer o acesso de agentes agressivos do meio que irão iniciar processos de degradação, comprometendo a durabilidade da estrutura.

Como a absorção de água, cloretos, CO_2 e outros poluentes é muito comum em diversos tipos de estruturas de concreto, conseqüentemente as

armaduras tornam-se despassivadas e se inicia o processo de corrosão nas estruturas. Sabe-se que a água, os cloretos e os poluentes de um modo geral diminuem a resistividade elétrica do concreto, possibilitando e facilitando o processo corrosivo. Além de a absorção de CO_2 provocar a carbonatação do concreto, diminuindo o pH e despassivando o aço em questão (GOMES, 2019).

Cascudo (1997), ressaltou que existe uma deterioração limite para a armadura, que representa a perda de capacidade de carga e a conseqüente diminuição da vida útil da estrutura. Visto a importância da integridade de um elemento estrutural, deve-se buscar combater tal deterioração ocasionada pela corrosão, isto só é possível fazendo o reconhecimento das taxas de corrosão das armaduras embutidas no concreto.

Potencial Eletroquímico

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2015), a energia potencial por unidade de carga em um ponto do espaço é chamada de potencial elétrico e sua representação em estudos é feita pela letra "V". A diferença de potencial entre dois pontos é, em módulo, equivalente ao trabalho realizado por uma força eletrostática para deslocar uma carga unitária de um ponto para o outro. Uma diferença de potencial pode ser

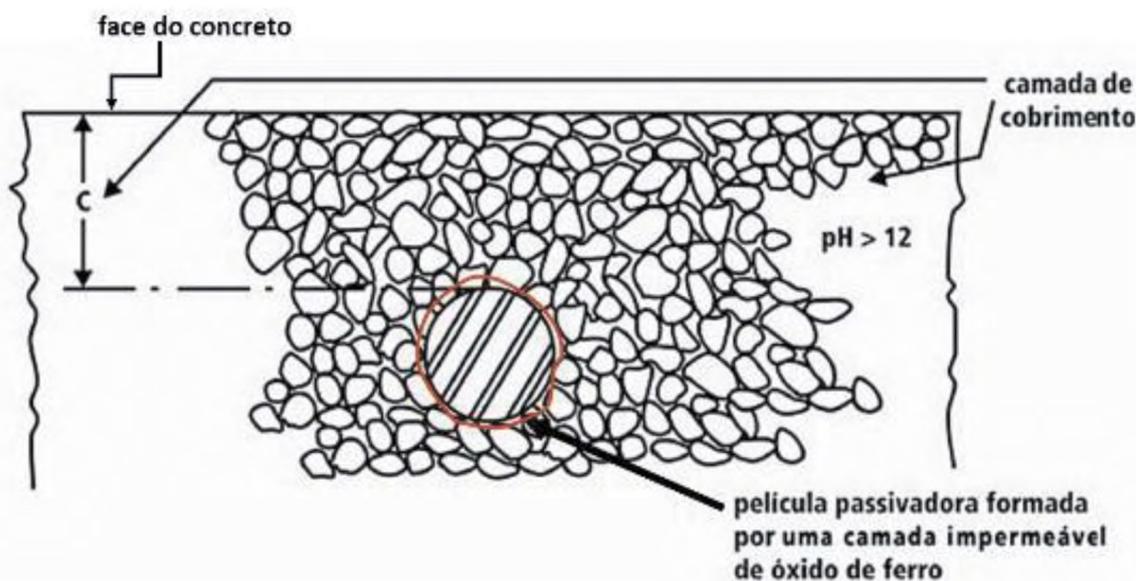


Figura 1 - Demonstração da película passivadora, em um concreto em condições normais.
Fonte: Adaptado de FUSCO, 2008.

positiva, negativa ou nula dependendo dos valores obtidos e da referência de carga.

De acordo com a norma NBR 8800 (2008), a velocidade de corrosão depende, entre outros fatores, da diferença de potencial existente entre os dois metais conectados, de suas áreas relativas e da natureza e período de ação do eletrólito. Assim, cuidados devem ser tomados quando se unem componentes metálicos diferentes, dando maior atenção à locais onde componentes metálicos menos nobres possuam uma pequena área superficial em comparação com aquela dos componentes metálicos mais nobres.

As medidas dos potenciais fornecem informações bastante valiosas para engenheiros responsáveis pela preservação de estruturas, principalmente informações como: a avaliação das condições de corrosividade do eletrólito (neste caso em especial o concreto); a localização dos chamados hot spots (pontos de corrosão severa); a localização de áreas sujeitas à corrosão eletrolítica causada por corrente de fuga; e o estado de corrosão, passividade ou de proteção do aço examinado. Tais informações podem definir os próximos passos de um projeto, inclusive a utilização de materiais e métodos favoráveis para proteção (IEC, 2020).

Potencial eletroquímico de corrosão nas estruturas de concreto

O conceito de potencial elétrico de corrosão é importante para compreensão da corrosão eletroquímica, que descreve a tendência de um material metálico iniciar um processo corrosivo quando está em um meio (eletrólito) propenso a isto. O potencial de corrosão é determinado pela diferença entre os potenciais de metais distintos em contato. Portanto o potencial elétrico de corrosão em estruturas de concreto armado refere-se à diferença de potencial elétrico que pode ocorrer entre o aço (armadura) e o concreto que envolve tal armadura. Havendo na estrutura umidade, carbonatação, ataque de cloretos e/ou outros contaminantes, haverá um meio eletroquímico favorável à corrosão da armadura.

No caso das estruturas de concreto, as medições dos potenciais de corrosão das armaduras são

realizadas de maneira similar às medições realizadas em instalações metálicas enterradas ou submersas, fazendo uso dos mesmos instrumentos e dispositivos de medição. A técnica utilizada para avaliação dos potenciais de corrosão existe desde a década de 1950, se tornando cada vez mais aplicável na identificação e monitoramento da corrosão de dutos, tanques e demais estruturas metálicas submersas ou enterradas. Contudo ainda é uma técnica pouco conhecida e aplicada em estruturas de concreto (DUTRA; NUNES, 2011).

A técnica para medição de potenciais em estruturas de concreto é simples e direta, sendo considerada uma técnica não destrutiva e que propõe resultados rápidos, apenas devendo ser aplicada com equipamentos adequados e por profissionais qualificados (IEC, 2020).

Equipamentos e cuidados para as medições dos potenciais

O procedimento detalhado para realização das medições dos potenciais nas armaduras está descrito na norma ASTM C876 (2022), contudo é recomendável que, durante as atividades de medições, sejam tomados os seguintes cuidados:

- Utilizar somente voltímetros (ou multímetros) com impedância igual ou superior a $10M.\Omega$;
- Utilizar um eletrodo de referência adequado, sendo o modelo aplicado a norma o eletrodo de referência de $Cu/CuSO_4$;
- O eletrodo de referência deve possuir ponta porosa (em cerâmica), nesta extremidade recomenda-se adicionar uma esponja umedecida afim de melhorar o contato elétrico;
- Quando as medições forem realizadas com a semicélula na posição horizontal, ou sobre a cabeça, garantir que a solução de cobre esteja sempre em contato simultâneo com o plug poroso e com o bastão de cobre;
- Sempre que necessário, o concreto no local da medição deverá ser pré-umedecido;
- Caso seja necessário, buscando reduzir a resistividade elétrica do concreto existente na peça, é permitido aplicar uma solução salina na face do concreto nos locais específicos para medições.

Procedimentos e análises de potenciais em estruturas de concreto

A realização da medição de potenciais em estruturas de concreto, baseia-se na diferença de potencial entre a armadura e um eletrodo de referência. Normalmente, utiliza-se um eletrodo de cobre-sulfato de cobre (Cu/CuSO₄), modelo mais aceito pelos engenheiros. Esse eletrodo é posicionado na superfície do concreto, conectado ao polo negativo de um voltímetro (ou multímetro) de alta impedância, enquanto o polo positivo deste equipamento é conectado à armadura, como pode ser observado na Figura 2 a seguir (SANTOS; LONGO; BARRETO, 2020). Todo o procedimento é baseado nas instruções detalhadas na norma ASTM C876 (2022).

As medições de potenciais podem ser realizadas em diferentes momentos e condições da estrutura. A técnica pode ser aplicada logo após a finalização da construção de determinada estrutura, pode ser aplicada em estruturas já existentes que não possuam algum método de combate a corrosão, assim como também

podem ser aplicadas às estruturas que já foram implementadas uma tecnologia para combate a corrosão nas armaduras (como exemplo mais comum sistemas de proteção catódica). O que é modificado é a metodologia em que os valores dos potenciais são analisados, tais métodos para analisar os potenciais podem ser verificados nas normas ASTM C876 (2022) e ISO 12696 (2022).

“As leituras de potencial de corrosão dependem do ponto em que o eletrodo de referência é posicionado na superfície do elemento, devido à interferência do cobrimento e à diferença na resistividade do concreto. Assim, a técnica permite localizar diferentes áreas com armaduras corroídas por meio da identificação de zonas de potenciais mais negativos, o que é muito usual em trabalhos de campo.

O acompanhamento da medida do potencial de corrosão se torna muito útil não só para projetos de concretos duráveis, mas, também, para a inspeção e monitoramento de estruturas, pois, permite a verificação de alterações no processo eletroquímico de corrosão ao longo do tempo.” (IBRACON, 2021, item 3.3, p.16).

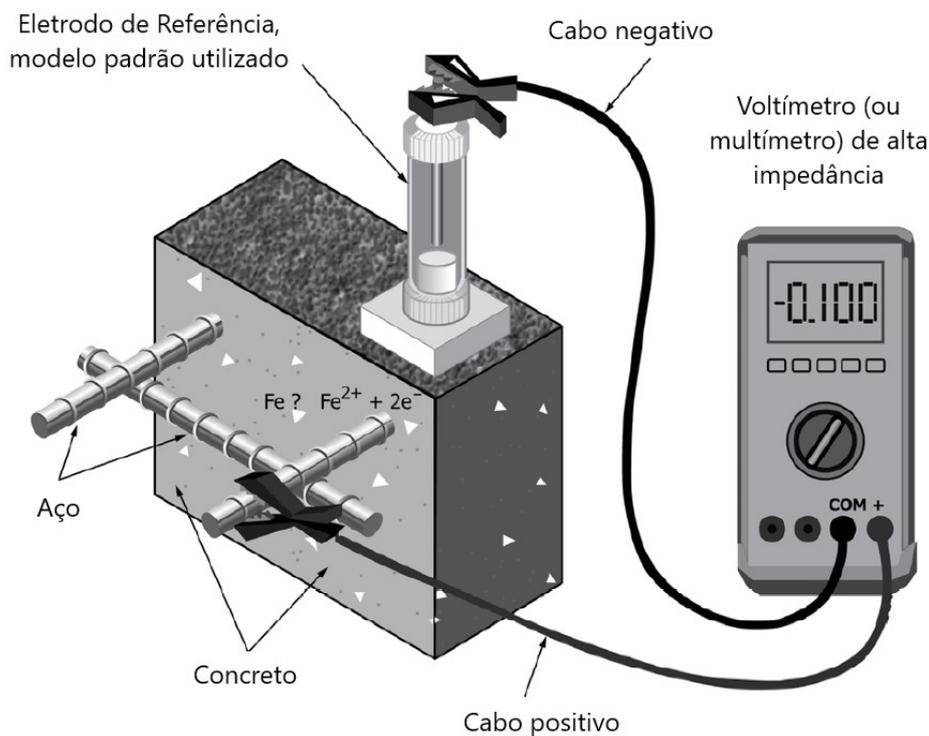


Figura 2 - Desenho esquemático sobre a medição de potencial em estrutura de concreto armado. Fonte: Adaptado de ASTM C876, 2022.

Análise do potencial de corrosão em estruturas de concreto antes da aplicação de métodos de combate a corrosão

O potencial elétrico de corrosão das armaduras é avaliado através do método e classificação descritos na norma ASTM C876 (2022). Ele se aplica a estruturas novas ou estruturas já construídas a tempos, porém que não tenham um método para combater as atividades corrosivas existentes no elemento estrutural, ou seja, estruturas que não possuam um sistema de proteção catódica (seja por corrente galvânica ou por corrente impressa) implementado.

Após o mapeamento de potenciais na superfície do concreto ser concluído, os valores obtidos em cada ponto de medição devem ser comparados e diagnosticados conforme a probabilidade de corrosão no aço utilizado (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação dos potenciais de corrosão de acordo com a ASTM C876

Potencial Medido - V (mV)	Probabilidade de Corrosão
$V > -200$	< 10 %
$-200 \geq V \geq -350$	Incerteza sobre corrosão
$V < -350$	> 90 %

Esses potenciais de corrosão são tipicamente medidos em relação ao eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO_4). A interpretação dos resultados do teste ASTM C876 ajuda a equipe técnica a avaliar a probabilidade de corrosão das armaduras de aço em estruturas de concreto e a implementar medidas

preventivas, se necessário. Para tanto ao analisar a Tabela 1 é possível identificar que os valores de potenciais mais negativos que -350 mV indicam um estado ativo, com probabilidade de corrosão superior a 90%. Em contrapartida, valores mais positivos que -200 mV apontam que a armadura esteja protegida ou passivada, com probabilidade de corrosão inferior a 10%. A faixa de potenciais entre -200 mV e -350 mV é uma região de transição, onde a probabilidade de corrosão é considerada incerta.

Normalmente por falta de um ponto de conexão com a armadura, torna-se necessário fazer um acesso no concreto até que se atinja a armadura. Este acesso nem sempre é simples e viável, dependendo do formato da peça, posição de medição e demais características da estrutura, isto pode ser observado nas Figuras 3 e 4 a seguir.

Análise do potencial em estruturas de concreto após aplicação de um sistema de proteção catódica

O potencial eletroquímico das armaduras, que já possuem um sistema de proteção catódica (seja por corrente galvânica ou por corrente impressa) implementado, é avaliado através dos parâmetros descritos na norma ISO 12696 (2022). Esta técnica é o principal método utilizado para avaliar se uma estrutura está catodicamente protegida, em alguns casos específicos pode se tornar necessária a análise de potenciais em pontos distintos e com duração prolongada.



Figuras 3 e 4 - Medição do potencial de corrosão da armadura utilizando um eletrodo de referência de Cu/CuSO_4 , realizando um acesso na face do concreto para obter contato com a armadura. Fonte: Imagens cedidas pela empresa IEC Engenharia.

Os equipamentos e metodologia para execução das atividades de medição de potenciais são as mesmas descritas na norma ASTM C876, a norma ISO 12696 determina as características e critérios para avaliação da proteção das armaduras de uma estrutura de concreto que possua um sistema de proteção catódica por corrente galvânica ou por corrente impressa. Para que seja possível definir a eficiência do sistema implantado através de medições de potenciais, é comum utilizar-se dos seguintes critérios de avaliação prescritos na referida norma:

- O critério de decrescimento do potencial de 100 mV → aplicado considerando a diferença entre o potencial ON e o potencial OFF, sendo viável para sistemas galvânicos e por corrente impressa;
- O critério do potencial absoluto -720 mV (Ag/AgCl) / -790 mV (Cu/CuSO₄) → mais viável para sistemas por corrente impressa, principalmente estruturas de concreto (inteiras ou em partes) submersas ou enterradas, considerando o valor registrado para o potencial no instante OFF após o desligamento/interrupção do sistema.

A técnica de proteção catódica aplicada ao concreto armado busca ajustar os potenciais da

armadura para entrar em estado de proteção, há a necessidade de considerar as mudanças de potenciais ocasionadas pela cura do concreto. Dessa forma, a injeção de corrente elétrica para polarização e proteção do sistema muda ao longo do tempo, necessitando de acompanhamento pela equipe técnica responsável (SANTOS; LONGO; BARRETO, 2020).

As Figuras 5 e 6 a seguir demonstram duas situações em que busca-se acompanhar os potenciais eletroquímicos em estruturas construídas em concreto armado já com sistemas de proteção catódica para o combate da corrosão em suas armaduras. A imagem a esquerda (Figura 5) apresenta uma medição de potenciais em uma estrutura de concreto que possui um sistema de proteção catódica por corrente impressa, enquanto a imagem a direita (Figura 6) exibe a medições de potenciais em uma pequena peça confeccionada com um sistema de proteção catódica com anodos galvânicos pré-instalados em seu interior.

Essa análise do potencial eletroquímico é importante para o acompanhamento do funcionamento do sistema de proteção catódica implementado, até o final de sua vida útil (DUTRA; NUNES, 2011).



Figura 5 e 6 - Medição do potencial da armadura com sistema de proteção catódica instalado, realizando um acesso na face do concreto para obter contato com a armadura.

Fonte: Imagens cedidas pela empresa IEC Engenharia.

Otimização da medição de potenciais

Observando os procedimentos que devem ser executados durante as atividades referentes a medição de potenciais eletroquímicos em estruturas de concreto, apresentados nos itens anteriores deste trabalho, identifica-se algumas dificuldades comumente detectadas em campo. Principalmente no que se refere a realizar um acesso na face do concreto com intenção de criar um ponto de conexão com a armadura, o que pode ser difícil em determinados ambientes e situações encontradas pela equipe técnica responsável pela monitoração.

Como principal medida para melhoramento da técnica de medição de potenciais, indicada pela norma ASTM C876, sugere-se criar pontos fixos de medição de potencial da armadura, sobretudo em estruturas novas onde pode-se prever a instalação de um esquema para acompanhar os níveis de corrosão em que as armaduras estão sujeitas.

Estes pontos de medição (também conhecidos como pontos de teste, PTs ou PTEs) consistem em caixas de visita (metálicas ou de material resistente e apropriado ao ambiente) que possuem em seu interior cabo(s) realizando contato direto à armadura. Através do(s) cabo(s) existentes em cada ponto de medição instalado é que será verificado o potencial de corrosão naquela região do elemento analisado. A Figura 7 a seguir apresenta um desenho esquemático do modelo proposto.

Como medida inicial para instalação destes pontos para medição, sugere-se que os cabos sejam conectados diretamente à armadura através de conexão mecânica ou por meio de solda, de acordo com a disponibilidade e viabilidade de cada situação trabalhada. Esta tarefa se torna mais simples quando a estrutura é nova ou passará por obras de reforço ou recuperação estrutural, visto que haverá maior facilidade para fixação dos cabos na armadura.

Essa conexão dos cabos a armadura permitirá a futura realização de medições de potenciais eletroquímicos, visto a continuidade elétrica existente neste circuito, bastando utilizar o

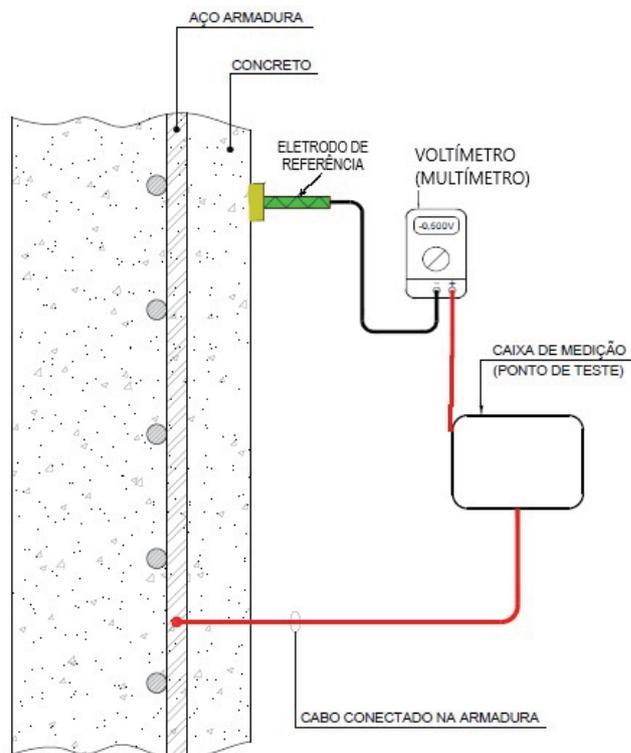


Figura 7 Desenho esquemático de um ponto de teste em estrutura de concreto, para medição do potencial de corrosão da armadura.
Fonte: Os autores.



Figura 8 Exemplo de campo, onde a conexão foi revestida com massa epóxi.
Fonte: Os autores.

eletrodo de referência de maneira adequada. Vale ressaltar que o ponto de conexão com a armadura deve ser recomposto o mais breve possível, seja com epóxi, argamassa ou outro material adequado para recuperação (conforme demonstrado no exemplo de campo, Figura 8).

Pensando em aprimoramentos para execução das atividades referentes a medição e acompanhamento de potenciais eletroquímicos em estruturas de concreto que já possuem um sistema de proteção catódica implantado, sugere-se a instalação de pontos de teste similares ao citado anteriormente. O tipo de caixa, o modo de conectar os cabos na armadura e os equipamentos necessários para a medição dos potenciais são os mesmos.

A principal diferença é que para aplicação deste método, é preciso prever a instalação de um cupom de corrosão na ocasião de reparo das regiões onde serão instalados anodos para proteção catódica. Em resumo instala-se um vergalhão (com comprimento aproximado de 5cm) de igual característica da armadura a ser protegida dentro do concreto, na mesma região do reparo e sem possuir nenhum contato elétrico com outras estruturas metálicas. O referido cupom deve ser interligado indiretamente à armadura com cabo elétrico passando por uma micro chave do tipo sempre ligada no interior de uma caixa de medição já preparada. O cupom deve

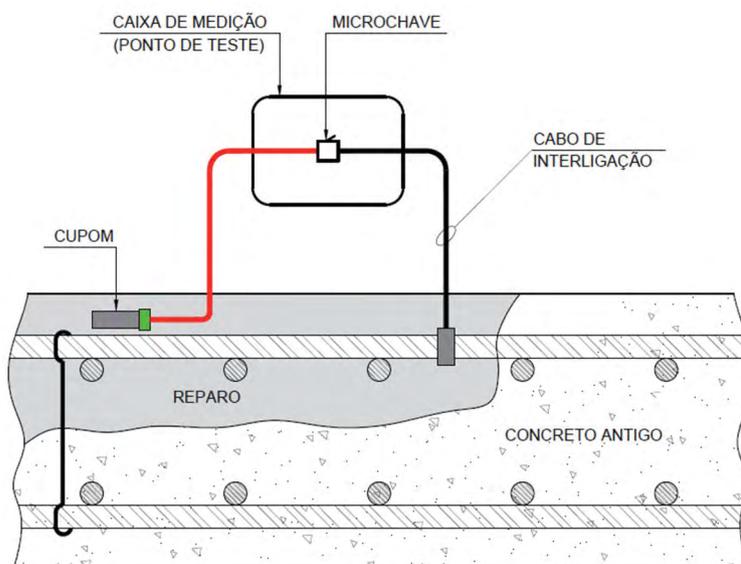
ser posicionado de forma a ter o cobrimento similar a armadura catodicamente protegida. A Figura 9 abaixo apresenta um desenho esquemático do modelo proposto.

Para a verificação dos potenciais eletroquímicos nesta estrutura, deve-se utilizar um voltímetro (multímetro) e um eletrodo de referência, que deverá ser posicionado, na face do concreto, exatamente sobre o ponto de instalação do cupom. Todos os dados devem ser registrados e analisados de acordo com os parâmetros estipulados pela norma ISO 12696.

Considerando que estas caixas de medição servirão como referência para análises futuras, recomenda-se que sejam identificadas em projeto, facilitando o monitoramento dos potenciais de corrosão das armaduras em inspeções futuras. De forma geral, estas caixas devem ser utilizadas para proteger os cabos que fazem contato direto com a armadura, proteger componentes internos, indicar o ponto de medição e permitir possíveis interligações. As figuras a seguir exibem exemplos dessas caixas de medição aplicadas em campo.

Para o caso de estruturas sem uma técnica de combate a corrosão instalada, essas medições devem apresentar resultados confiáveis, pois poderão classificar o estado da corrosão do aço de determinado elemento estrutural (MEIRA, 2017). Já para estruturas que possuam um

Figura 9 Desenho esquemático de um ponto de teste em estrutura de concreto, para acompanhamento dos potenciais em uma estrutura com proteção catódica. Fonte: Os autores.





Figuras 10 e 11
Exemplos de caixas
de medição de
potenciais.
Fonte: Os autores.

sistema de proteção catódica (seja por corrente galvânica ou por corrente impressa) instalado, o acompanhamento destes potenciais pode indicar a validade e a segurança do sistema (DUTRA; NUNES, 2011).

Discussões e Conclusões

Apesar de extremamente eficaz, o método para levantamento dos potenciais eletroquímicos proposto pela norma ASTM C876 pode oferecer algumas dificuldades para a equipe de campo. Estas dificuldades podem ser potencializadas caso haja falta de informações a respeito da estrutura e/ou equipamentos inadequados para reconhecimento das armaduras e para realização de um contato elétrico com a armadura através de um acesso no concreto existente.

Os modelos propostos para otimização dos procedimentos de medição buscam: facilitar as atividades necessárias para o levantamento dos potenciais; ajudar a manter a mesma região de análise do elemento estrutural, de modo a permitir um registro do histórico de potenciais de determinada estrutura; viabilizar a aplicação dos parâmetros para verificação da eficiência de um sistema de proteção catódica (descritos na norma ISO 12696); além de reduzir falhas existentes durante a aplicação da técnica de medição de potenciais em estruturas de concreto.

O emprego de tais itens para melhoramento desta técnica não terá um aumento de custo significativo para a obra, o que o torna viável para a maioria dos casos em que se tenha a

corrosão como um inimigo constante a ser combatido.

Referências

- MARTINS, M.S.; PANOSSIAN, Z. **Viabilidade técnica e econômica do uso de armaduras de aço-carbono com ligas e armaduras zincadas em estruturas de concreto armado sujeitas à corrosão por carbonatação.** In: *Conferência de Tecnologia e Equipamentos, COTEQ*, Rio de Janeiro, 2019.
- CASCUDO, O.; HELENE, P.R. L. **Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado.** *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, 24p., São Paulo, 2001.
- SANTOS, M.F.S.F.; LONGO, O.C.; BARRETO, F.S. **Proteção catódica em estruturas de cobertura abobadada para minimização de reforço estrutural.** *Corrosão e Proteção*, v.17, n.70, p.47-55, jan-fev-mar, 2020.
- FUSCO, P B. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**, 1 ed, São Paulo, Pini, 2008.
- GOMES, L.P. **Utilização de Anodos Galvânicos para a Proteção Catódica de Armaduras de Reforço de Estruturas de Concreto.** *Corrosão e Proteção*, v.16, n.67, p.39-45, abr.-maio-jun., 2019.
- CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto - inspeção e técnicas eletroquímicas.** Goiânia, GO, Editora UFG, 1997.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física - Eletromagnetismo.** 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios (NBR 8800).** Rio de Janeiro, ASTM, 2008.
- IEC - INSTALAÇÕES E ENGENHARIA DE CORROSÃO LTDA. **Sistemas de Proteção Catódica.** 2 ed. Rio de Janeiro, Interciência, 2020.
- DUTRA, A.C.; NUNES, L.P. **Proteção Catódica: Técnica de Combate a Corrosão.** 5 ed, Rio de Janeiro, Interciência, 2011.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete (ASTM C-876).** Philadelphia, ASTM, 2022 <https://doi.org/10.1520/C0876-22>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *Cathodic Protection Of Steel In Concrete (ISO 12696)*. Genebra, 47 p., 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO (IBRACON). **Prática recomendada IBRACON: Procedimento de ensaio de potencial de corrosão em corpos de prova de concreto armado**, 1 ed., São Paulo, IBRACON / ALCONPAT 702, 2021.

MEIRA, G.R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto - Fundamentos, diagnóstico e prevenção**, João Pessoa, IFPB, 2017.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UFF - Universidade Federal Fluminense, por permitir a realização de um trabalho sério que busca a qualidade e o desenvolvimento de um segmento pouco explorado, além empresa IEC - Instalações e Engenharia de Corrosão LTDA, que disponibilizou informações e imagens para a produção deste artigo.

Sobre os autores

Felipe da Silva Barreto (BARRETO, F.S. - Orcid iD: <https://orcid.org/0009-0000-2368-5119> - E-mail: fsbarreto@id.uff.br), Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estácio de Sá (2019), mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Trabalha com pesquisa, desenvolvimento, design e projetos em áreas como corrosão, proteção catódica, patologias e combate à deterioração em estruturas de concreto. Possui experiência em áreas da engenharia civil como manutenção predial, manutenção e prevenção de estruturas, corrosão e proteção catódica de grandes estruturas de concreto. Atualmente é Engenheiro de Projetos na empresa IEC - Instalações e Engenharia de Corrosão LTDA.

Marco Aurélio Chaves Ferro (FERRO, M.A.C. - Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/9203060208014290> - Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-8198-8668> - E-mail: marcoferro@id.uff.br). Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1987), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de

Janeiro, COPPE (1997) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE (2002). Foi Chefe da Seção de Engenharia de Fortificação e Construção (Engenharia Civil) do Instituto Militar de Engenharia (IME). Foi Professor da Seção de Engenharia de Fortificação e Construção (Engenharia Civil) do Instituto Militar de Engenharia (IME). Foi Professor Visitante da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e da Faculdade Nilton Lins em Manaus (AM). Foi representante da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) no Estado do Amazonas. Possui Pós-Doutorado na COPPE/UFRJ em 2006, na área de Engenharia Civil. Possui o Mestrado em Ciências Militares pela Escola de Comando e Estado-Maior do Exército Brasileiro (ECEME). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Estruturas e Recursos Hídricos, atuando principalmente nos seguintes temas: projetos de estruturas, gestão ambiental, administração de empresas - aspectos ambientais, simulação computacional e análise numérica. Pós-Doutor em Administração Pública pela Fundação Getúlio Vargas (FGV/EBAPE). Atualmente é Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense (UFF), sob o regime de 40 horas, Dedicção Exclusiva.

Manuel Fernando Sousa Ferreira dos Santos (SANTOS, M.F.S.F. - Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/3558443703414683> - Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-8678-5280> - manuelfernando@id.uff.br). Possui Mestrado em Tecnologia da Construção e Estruturas, com ênfase na área de patologia do concreto e reforço estrutural com utilização de compósitos, incluindo de materiais de construção e sistemas construtivos pela Universidade Federal Fluminense. Graduado na Universidade do Estado do Rio de Janeiro em Engenharia Civil, com ênfase em Estruturas. Atua no mercado corporativo na área de recuperação e reforço de estruturas, bem como edificações em estruturas mistas. Professor substituto da cadeira de estruturas no curso de arquitetura na UFRRJ no período de 2018 a 2020. Professor da cadeira de Pontes e Estruturas de Madeira e Concreto. Coordenador do Curso de Pós-Graduação em estruturas na UNESA \ RJ. Responsável pelo gerenciamento do Escritório Modelo do Campus Niterói \ UNESA.

ANODOS GALVASHIELD DE PROTEÇÃO CATÓDICA PARA OS SERVIÇOS DE REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO CONTAMINADAS POR CLORETOS

Luiz Paulo Gomes

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

1. Introdução

A proteção catódica é uma técnica conhecida, consagrada e obrigatória nas atividades de proteção contra a corrosão e garantia de integridade de todas as instalações de aço que precisam operar enterradas ou submersas, como os oleodutos, gasodutos, adutoras, minerodutos, alcooldutos, polidutos, tanques de armazenamento, instalações portuárias, estacas de aço de píeres de atracação de navios, plataformas de petróleo, navios e embarcações de um modo geral [7].

Mais recentemente, a partir dos anos 70/80, essa técnica começou a ser utilizada também para a proteção contra a corrosão de armaduras de estruturas de concreto, tanto as carbonatadas quanto as contaminadas por cloretos. Isso foi

possível devido ao desenvolvimento de anodos especiais, do tipo galvânico (proteção catódica galvânica) ou do tipo inerte (proteção catódica por corrente impressa), com formatos e dimensões apropriados para serem instalados dentro do concreto [12].

Atualmente, devido aos modernos e eficientes anodos disponíveis no mercado, a técnica de proteção catódica está sendo cada vez mais utilizada durante a construção de novas obras ou por ocasião dos serviços de reabilitação de obras já comprometidas por corrosão[3].

Nesse artigo vamos tratar, em especial, dos anodos galvânicos de zinco, também conhecidos como anodos galvashield, utilizados nos serviços de reabilitação de estruturas de concreto

com problemas de corrosão causados pela ação de cloretos, fenômeno muito comum de ocorrer ao longo de toda a costa brasileira.

Importante observar que, nesses casos, onde a estrutura de concreto já está impregnada com água e cloretos, os serviços de reabilitação, recuperação e reforço somente são eficientes quando utilizam esses anodos de proteção catódica [2], [5].

2. Principais Aplicações dos Anodos de Proteção Catódica em Estruturas de Concreto

Os anodos galvashield de proteção catódica são utilizados para a proteção contra a corrosão de diversas obras de concreto, durante os serviços de construção ou por ocasião dos trabalhos de reabilitação e recuperação estrutural. As principais aplicações dos anodos são as seguintes:

- 1) Estruturas de concreto de um modo geral, contaminadas por CO₂ ou por cloretos.
- 2) Estacas e estruturas de concreto no mar e instalações portuárias de um modo geral.

- 3) Edifícios residenciais e comerciais de um modo geral, em especial os influenciados pela orla marinha.
- 4) Estações de tratamento de água, esgotos e efluentes.
- 5) Monumentos históricos, estádios de futebol, tanques e aquários.
- 6) Estruturas de concreto, túneis e edificações construídas nas proximidades de ferrovias eletrificadas [1].

3. Corrosão nas Armaduras e Procedimento de Instalação dos Anodos

As equações de corrosão mostram claramente que, depois de absorvidos pelo concreto, os íons cloro (Cl⁻) não são consumidos durante as reações, permanecendo indefinidamente impregnados na estrutura e causando grandes estragos se providências não forem tomadas em tempo hábil [7].



Fig. 01 – Dois exemplos de corrosão em armaduras, causada pela absorção de cloretos. Nesses casos os serviços de reabilitação precisam ser complementados com a instalação dos anodos galvashield de proteção catódica, única maneira de evitar que a corrosão volte com força total [8].

Fig. 02 - Esquema de instalação dos anodos galvânicos para a proteção das armaduras. Os anodos são instalados durante os serviços de reabilitação ou durante a construção de uma nova obra, quando as armaduras estão expostas. Notar que os anodos para essas aplicações são fornecidos com um encapsulamento de argamassa condutora com pH igual ou superior a 14 (para se manterem ativos dentro do concreto) e um arame de aço (para que sejam simplesmente amarrados às armaduras). A finalidade dos anodos é energizar suavemente as armaduras, de modo a eliminar o funcionamento das pilhas de corrosão e garantir a integridade da estrutura [3].

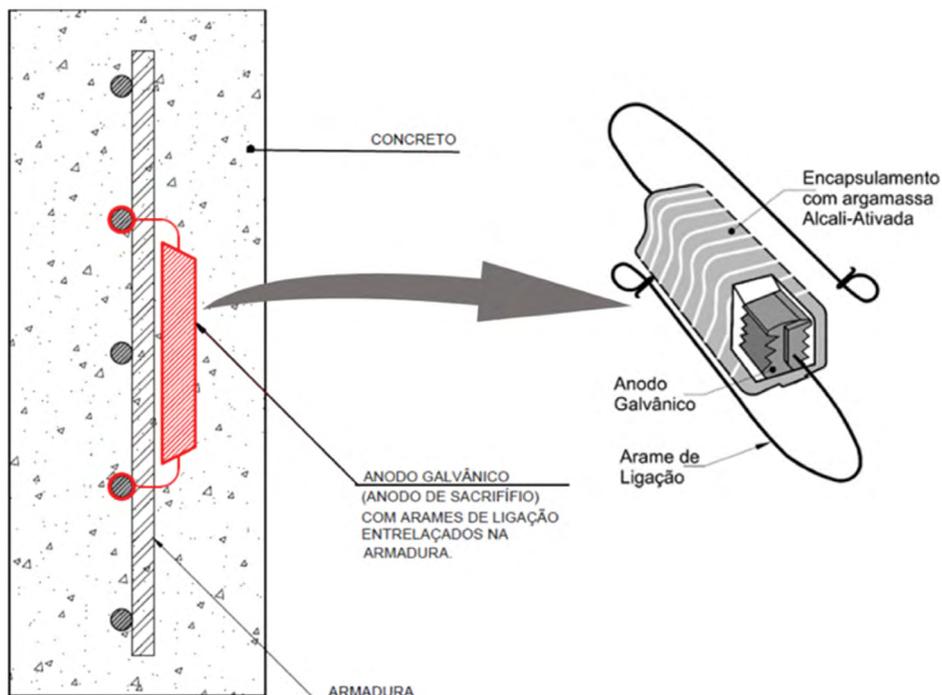


Fig. 03 - Quatro exemplos de estruturas de concreto contaminadas por cloretos, que experimentaram serviços de reabilitação sem a instalação dos anodos, e onde a corrosão voltou com força total, em muito pouco tempo. Serviços de reabilitação e recuperação nessas condições somente são eficientes e definitivos se executados com a instalação dos anodos.

4. Anodos para serem instalados durante os serviços de reabilitação da estrutura de concreto (Galvashield XP, DAS, CC e SM-DAS)

Os anodos galvânicos ou anodos galvashield são fabricados em vários tipos, formatos e dimensões, sendo importante que se conheça as principais aplicações de cada um deles. Todos esses anodos são fornecidos com massa anódica de zinco puro (igual ou superior a 99,9%), recobrimento de argamassa condutora com pH igual ou superior a 14 e devem ser adquiridos de fabricante tradicional, de confiança e que forneça todos os certificados de qualidade e garantia necessários, conforme ASTM B418 [15].

Os principais tipos e aplicações dos anodos são os seguintes:

4.1 Anodos para instalação nos locais onde as “armaduras estão aparentes” (Galvashield XP e DAS)

a) **Anodos Galvashield XP:** Trata-se de anodos galvânicos para proteção contra a corrosão de armaduras de estruturas de concreto, apropriados para os serviços de reabilitação e para serem instalados durante a construção de novas obras, onde as armaduras estão aparentes.

b) **Anodo Galvashield DAS:** Esses anodos são apropriados para serem instalados durante os serviços de reabilitação ou durante a construção de novas estruturas, possuem formato alongado, comprimento aproximado de um metro ou mais e são utilizados principalmente em regiões com grandes densidades de aço e altos teores de cloretos.



Fig. 04 – Dois exemplos de instalação de anodos galvânicos Galvashield XP durante os serviços de reabilitação de uma estrutura de concreto. Esse tipo de instalação é sempre necessário em estruturas influenciadas pelo ambiente marinho ou por CO₂ e garante proteção contra a corrosão das armaduras, qualquer que seja a extensão do nível de absorção de cloretos ou de carbonatação. Os serviços de reabilitação não devem ser feitos sem a instalação dos anodos, sob pena da corrosão voltar com força total, devido ao conhecido e muitas vezes negligenciado Efeito Halo [8].



Fig. 05 – Dois exemplos de instalação de anodos galvashield DAS (peças verdes) durante os serviços de recuperação estrutural dos pilares de concreto de um edifício residencial nas proximidades do mar. As armaduras sofreram sérios problemas de corrosão, situação muito comum de ocorrer em construções desse tipo nas proximidades da orla marinha. A instalação dos anodos durante os serviços de reabilitação garante proteção integral das armaduras, qualquer que seja o teor de cloretos absorvido pelo concreto.

4.2 Anodos para Instalação nos Locais Onde as “Armaduras Não Estão Aparentes” (Galvashield CC e SM-DAS).

Nos locais onde a corrosão ainda não aflorou, as armaduras não estão aparentes e os potenciais das armaduras em relação ao concreto mostram que já existe corrosão ativa, torna-se necessário instalar anodos cilíndricos em forma de bastão, que são embutidos em pequenos furos no concreto.

Para a verificação da ocorrência ou não de corrosão ativa devemos medir os potenciais das armaduras em relação ao concreto e interpretar os valores medidos da seguinte maneira [14]:

- Potenciais armadura/concreto iguais ou mais negativo que -350mV (alto risco de corrosão, 90% de probabilidade da ocorrência de corrosão ativa, necessidade de instalar os anodos antes que o produto de corrosão comece a escorrer e o concreto comece a estufar, fissurar e delaminar).
- Potenciais armadura/concreto entre -350mV e -200mV (maior ou menor probabilidade de ocorrência de corrosão ativa. Necessidade de atenção. Se os potenciais estiverem próximos a -350mV os anodos já devem ser instalados).

- Potenciais armadura/concreto menos negativos que -200mV (baixo risco de corrosão, 90% de probabilidade de não haver corrosão ativa. A instalação dos anodos não é necessária nesses locais).

As medições dos potenciais são utilizadas, também, para a monitoração das armaduras após a instalação dos anodos, da seguinte maneira [8]:

- Para os sistemas galvânicos o critério de proteção catódica é o de uma variação igual ou maior que 100mV no valor do potencial armadura/concreto, mediante medições feitas antes e depois da instalação dos anodos.
- Para os sistemas por corrente impressa essa variação de 100mV deve ser obtido pela comparação entre o valor medido imediatamente após o desligamento do retificador (potencial “Instant OFF”) e o valor medido após a despolarização completa da armadura.
- Em estruturas protendidas, para evitar-se riscos de fragilização por hidrogênio, os potenciais devem ficar menos negativos que -900mV (Cu/CuSO_4).



Fig. 06 - Medição de potencial das armaduras em relação ao concreto com o auxílio de um voltímetro de alta impedância e um eletrodo de referência de Cu/CuSO_4 . Mediante interpretação dos valores medidos consegue-se mapear as regiões de corrosão ativa e definir os locais para o embutimento dos anodos galvânicos Galvashield CC, sem a necessidade de quebrar o concreto.



Fig. 07 - Instalação de anodos galvashield CC em pilar de viaduto, embutidos em furos, sem a necessidade de quebrar o concreto, para eliminar a corrosão das armaduras nos locais onde as medições dos potenciais indicaram a presença de corrosão ativa. Essa é uma solução eficiente e definitiva para um problema muito comum de ocorrer em pontes e viadutos de um modo geral. Nesses casos, não devemos esperar que a corrosão aflore e exija serviços onerosos de reabilitação.



Fig. 08 - Anodos galvânicos Galvashield SM-DAS em fase de instalação sobre a superfície e sem a necessidade de quebrar ou furar o concreto. A instalação é feita nos locais de corrosão ativa, identificados através das medições dos potenciais, ou nos locais onde o concreto foi recuperado mas os anodos XP ou DAS não foram instalados, por esquecimento ou por falta de tempo hábil.

a) **Anodos Galvashield CC:** Anodos galvânicos para proteção contra a corrosão de armaduras de estruturas de concreto, próprios para serem instalados durante os serviços de reabilitação, nos locais onde as armaduras não estão aparentes mas já existe corrosão ativa, fabricados em formato de bastão cilíndrico e apropriados para serem embutidos em pequenos furos no concreto.

b) **Anodos Galvashield SM-DAS:** Anodos galvânicos para proteção catódica contra a corrosão de armaduras de estruturas de concreto, próprios para serem instalados sobre a superfície, sem a necessidade de furar ou quebrar o concreto.

5. Reabilitação de estacas de concreto no mar

Para os serviços de recuperação de estacas de concreto no mar, na zona de variação de marés, zonas de respingos e regiões aéreas, utiliza-se um sistema especial de formas para permitir a instalação dos anodos galvashield, de acordo com a especificação abaixo:

a) **Sistema Galvashield Jacket para Instalação Dentro do Mar:** Sistema de enjaquetamento de estacas de concreto, durante os serviços de reabilitação no mar, para proteção catódica contra a corrosão das armaduras das partes submersas, zona de variação de marés, zonas de respingos e regiões aéreas, com a utilização de anodos de zinco com grau de pureza igual ou superior a 99,9%, colocados dentro de uma jaqueta modular de PVC ou fibra de vidro que permanece no local, permitindo que o espaço seja preenchido com concreto ou argamassa. A finalidade da jaqueta é simplesmente servir de forma para permitir a instalação dos anodos, sem função estrutural ou de impermeabilização.

6. Reabilitação de pilares de concreto para instalação fora do mar

Quando os pilares a serem recuperados estão fora do mar o procedimento é o mesmo utilizado para as estacas de concreto no mar, de acordo com o seguinte:



Fig. 09 - Instalação do sistema de anodos e jaquetas Galvashield Jacket para a proteção de armaduras de estacas de concreto na zona de variação de marés. Essa é uma solução de eficiência comprovada e definitiva para os problemas de corrosão em estacas de concreto no mar. A instalação dos anodos, nesses casos, é a única maneira de garantir a recuperação das estacas de maneira prática, segura e econômica [4]. Importante observar que praticamente todas as estacas de concreto no mar apresentam esse problema com o passar do tempo.

a) Sistema Galvashield Jacket Fora do Mar:

Sistema de enjaquetamento de estacas de concreto, durante os serviços de reabilitação de pilares de concreto fora do mar, com a utilização de anodos de zinco com grau de pureza igual ou superior a 99,9%, colocados dentro de uma jaqueta modular de PVC ou fibra de vidro que permanece no local, permitindo que o espaço seja preenchido com concreto ou argamassa. A finalidade da jaqueta é simplesmente servir de forma para permitir a instalação dos anodos, sem função estrutural ou de impermeabilização.

7. Conclusões

Estruturas de concreto influenciadas por cloretos apresentam, com o passar do tempo, sérios problemas de corrosão que somente podem ser resolvidos em definitivo com a instalação dos anodos de proteção catódica.

As equações de corrosão das armaduras, nesses casos, mostram claramente que, depois de absorvidos pelo concreto, os íons cloro (Cl⁻) não são consumidos durante as reações, permanecendo impregnados na estrutura e causando grandes estragos, se providências não forem tomadas em tempo hábil.

Os serviços de reabilitação, necessários para a manutenção da integridade das estruturas depois de corroidas, introduzem novas pilhas de

corrosão nas armaduras, causadas, em especial, pelas variações de resistividade elétrica e pH do concreto novo (que acabou de ser colocado) e do concreto já contaminado com cloretos (concreto que não foi substituído), fenômeno muitas vezes negligenciado e conhecido por Efeito Halo.

A instalação dos anodos pode ser feita durante a construção de obras novas, durante os serviços de reabilitação ou nos locais onde a corrosão ainda não aflorou mas já está ativa, o que pode ser diagnosticado pela análise das medições dos potenciais das armaduras em relação ao concreto.

O dimensionamento prático dos anodos pode ser feito através do site www.vector-corrosion, desde que se informe a área superficial das armaduras a serem protegidas, o tipo de estrutura em estudo (em fase de construção ou já com corrosão ativa), as condições locais (estrutura com carbonatação ou contaminada por cloretos) e a vida útil desejada.

Em todas as situações a experiência do especialista de corrosão é de fundamental importância para o sucesso na seleção e dimensionamento do método de proteção mais eficiente e econômico para cada caso em particular.

Referências Técnicas

[1] AMPP-ASSOCIATION FOR MATERIALS PROTECTION AND PERFORMANCE (Antiga NACE), AMPP SP 21427-2023, Detection and Mitigation of Stray-Current Corrosion or Reinforced and Prestressed Concrete Structures, Set 2023.



Fig. 10. Instalação do sistema de anodos e jaquetas Galvalume Jacket para a reabilitação de pilares de concreto fora do mar. Essa solução é definitiva e possui eficiência comprovada. A instalação dos anodos, também nesses casos, é a única maneira de garantir a recuperação das estacas de maneira prática, segura e econômica [4].

[2] FHWA-FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, Department of Transportation, Research and Development, Long-Term Effectiveness of Cathodic Protection Systems on Highway Structures. Publication No. FHWA-RD-01-096. Georgetown Pike McLean, VA, 96 p, 2001.

[3] NACE-NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS (Atual AMPP), NACE SP0216, Sacrificial Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures, 2016.

[4] ACI-AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI PRC-546-14-E706, Guide of Concrete Repair, Installation of Embedded Galvanic Anodes.

[5] IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, ARAUJO, A.; CARDOSO, J.L.; RIBEIRO, J.L.S.; BRAGA, M.V.S.; PANOSSIAN, Z. Avaliação Laboratorial de Tecnologias de Reparo na Reabilitação de Estruturas de Concreto Armado. Conferência de Tecnologia e Equipamentos, COTEQ, Rio de Janeiro, 2019.

[6] ABRACO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO. ABRACO RP - CAC 001: Corrosão de Armaduras em Estruturas de Concreto - Causas, Avaliação, Diagnóstico, Prevenção e Controle. Rio de Janeiro, 53 p, 2019.

[7] IEC-INSTALAÇÕES E ENGENHARIA DE CORROSÃO, Livro Sistemas de Proteção Catódica, Segunda Edição, Rio de Janeiro, Editora Interciência, 376p., 2020.

[8] BRITISH STANDARDS BS EN ISO 12696, Cathodic Protection of Steel in Concrete, 2016.

[9] GOMES, L.P., Utilização de Anodos Galvânicos para a Proteção Catódica de Armaduras de Reforço de Estruturas de Concreto. Revista ABRACO - Corrosão e Proteção, v.16, n.67, p.39-45, 2019.

[10] GOMES, LP., Corrosão e Proteção Catódica de Armaduras de Aço, Revista IBRACON Concreto e Construções, Edição 100, Out/Dez 2020.

[11] DUTRA, A.C.; NUNES, L.P. Proteção Catódica: Técnica de Combate a Corrosão. 5. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 344p.

[12] VECTOR CORROSION TECHNOLOGIES, Section 03700, Embedded Galvanic Anodos, Part 1, General, 4p, 2023.

[13] POURBAIX, M., Atlas of Electrochemical Equilibrium in Aqueous Solutions, NACE, Houston, Texas, 648p, 1974.

[14] ASTM C876-15, Standard Test Method for Corrosion Potentials Uncoated Reinforced Steel in Concrete, 2015.

[15] ASTM B418 - Standard Specification for Cast and Wrought Galvanic Zinc Anodes.

[16] ACI Repair Application Procedure (RAP) Bulletin 8 - Installation of Embedded Galvanic Anodes

[17] ACI Guideline No. 222 - Corrosion of Metals in Concrete

[18] ACI 562 - Code Requirements for Evaluation, Repair and Rehabilitation of Concrete Buildings

[19] ICRI Guideline 310.1R - Guide for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforcing Steel Corrosion

O autor

Luiz Paulo Gomes (LPgomes@iecengenharia.com.br) é diretor da IEC-Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda., atual 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.



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.
<https://presserv.com/brazil/>

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