

RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

CORROSÃO

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE CORROSIVIDADE PREVISTO PARA ESTRUTURAS AÉREAS, ENTERRADAS, EM CONTATO COM A ÁGUA E COM FLUIDOS ALTAMENTE CORROSIVOS

ABRACO-RP-COR-001

V. 01012025

Total de páginas: 16

NOTA 1

A Associação Brasileira de Corrosão alerta os usuários: o uso de suas recomendações práticas requer conhecimento e experiência. O uso inadequado das mesmas e consequentes resultados impróprios não se constituem responsabilidade da Associação.

NOTA 2

É recomendável que todos os trabalhos relacionados aos sistemas de proteção anticorrosiva sejam executados, no que couber, por profissionais certificados conforme procedimentos da Associação Brasileira de Corrosão, relativos à Pintura Anticorrosiva, Proteção Catódica e Galvanização por Imersão à Quente.

COMPOSIÇÃO DO GRUPO DE TRABALHO EXECUTOR

O Grupo de Trabalho responsável pela elaboração da presente Recomendação Prática foi constituído pelas seguintes pessoas:

Laerce de Paula Nunes – Coordenador

Luiz Paulo Gomes – Membro

Carlos Alexandre Martins da Silva – Membro

João Paulo Klausung Gervasio – Membro

Erik Barbosa Nunes – Membro

Jean Amaral – Membro

Fabiano Vieira – Membro

Carlos Eduardo Mazzini – Membro

SUMÁRIO

1.0	OBJETIVO	4
2.0	DOCUMENTOS NORMATIVOS DE REFERÊNCIA	4
3.0	RECOMENDAÇÕES PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE CORROSIVIDADE	6
4.0	PRÁTICAS DE PROTEÇÃO ANTICORROSIVA	6
5.0	CONCLUSÕES	20
6.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1.0 OBJETIVO

Esta RECOMENDAÇÃO PRÁTICA tem por objetivo apresentar as orientações básicas para avaliação do nível de corrosividade previsto para estruturas aéreas, enterradas, em contato com a água e com fluidos altamente corrosivos, com vistas a aplicação de práticas adequadas de proteção anticorrosiva, em função dos ambientes corrosivos a que estas estruturas estejam expostas.

2.0 DOCUMENTOS NORMATIVOS DE REFERÊNCIA

2.1 NORMAS DA ABNT

ABNT NBR ISO 9223 – Corrosão de metais e ligas metálicas – Corrosividade de atmosferas – Classificação, determinação e estimativa.

2.2 NORMAS INTERNACIONAIS

- ISO 9224 - Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres — Guiding values for the corrosivity categories.
- ISO 12944-2 - Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 2: Classification of environments.

2.3 RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS - ABRACO

- ABRACO RP – TAC - 002 - Recomendações para Seleção de Esquemas de Pintura Anticorrosiva.
- ABRACO RP – PTC – 001 - Critérios para Levantamentos de Campo para Sistemas de Proteção Catódica de Estruturas Terrestres.
- ABRACO RP – PTC – 006 - Critérios para Sistemas de Proteção Catódica em Estruturas Marítimas.
- ABRACO RP – CAC – 001 - Corrosão de Armaduras em Estruturas de Concreto - Causas, Recomendações de Avaliação, Diagnóstico, Prevenção e Controle.
- ABRACO RP – RAC – 001 - Proteção Anticorrosiva de Condições Críticas em Estruturas Aéreas Revestidas.

3.0 RECOMENDAÇÕES PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE CORROSIVIDADE

Neste item serão apresentadas metodologias para a avaliação de nível de corrosividade em quatro condições muito comuns: em ambientes atmosféricos, nas estruturas enterradas, nas estruturas em contato com a água e em processos industriais com meios muito agressivos aos materiais metálicos.

Trata-se de corrosão externa pelo ambiente atmosférico, pelo solo e pelas águas, bem como corrosão interna pela água e fluidos muito corrosivos.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DE CORROSIVIDADE ATMOSFÉRICA

Os ambientes atmosféricos podem ser salinos, industriais, urbanos e rurais interioranos.

Esta metodologia se baseia na norma NBR ISO 9223 que estabelece como alternativa de definição do grau de corrosividade a comparação da condição de exposição com a descrição dos ambientes atmosféricos típicos previstos na norma.

Exemplos de Estruturas aéreas afetadas pela corrosão:

- Estruturas Metálicas.
- Equipamentos industriais (tanques, vasos, torres, tubulações, fornos, caldeiras, dentre outros).
- Partes aéreas de píeres, cais, plataformas e FPSO.
- Instalações portuárias.
- Partes aéreas de navios e embarcações.
- Torres de linhas de transmissão, usinas hidráulicas, solares, eólicas.
- Estruturas de concreto armado.

Na corrosão atmosférica existem os fatores que afetam diretamente a corrosividade das atmosferas, tais como: umidade relativa do ar, teor de cloretos, o teor de sulfatos e tempo de molhabilidade.

Há ainda os fatores que aumentam o risco de corrosão atmosférica: presença de particulados, características intrínsecas da Instalação, regime de ventos e de chuvas.

As condições atmosféricas (umidade, temperatura, regime de ventos e de chuvas) podem ser monitoradas no local da instalação ou obtidas a partir de portais de dados meteorológicos.

As condições de salinidade e sulfatação são estimadas a partir da localização e do regime de ventos, podendo também eventualmente serem medidas.

As características críticas intrínsecas da instalação (condições geradoras de frestas) são estimadas pela análise do projeto ou observação de campo.

Os critérios de avaliação de corrosividade das estruturas aéreas, considerando-se os vários aspectos que impactam a corrosividade das atmosferas, em ambientes externos são os colocados a seguir, cujos índices observados e atribuídos devem ser somados para enquadramento na tabela 01:

3.1.1 QUANTO À UMIDADE:

- Locais secos, bem ventilados umidade abaixo de 50% - índice zero;
- Locais de média umidade (umidade entre 50 e 80%, abaixando principalmente à noite e nas quedas de temperatura, ou ainda com alta taxa de evaporação) - índice 3;
- Locais úmidos (umidade sempre superior a 75%), confinados e mal ventilados - índice 6.

3.1.2 QUANTO À PROXIMIDADE DO MAR OU DE FONTES DE CLORETOS:

- Locais longe do mar ou de fontes de cloretos, sem influência de ventos marinhos - índice zero;

- Locais próximo do mar ou de fontes de cloretos, entre 500m e 50 km, com muita pouca influência de ventos marinhos - índice 1;
- Locais próximo do mar, entre 500m e 50 km, com alguma influência de ventos marinhos - índice 3;
- Locais próximo do mar (a menos de 500m) ou em área marítima, com grande influência de ventos marinhos - índice 8.

3.1.3 QUANTO À PROXIMIDADE DE ÁREAS INDUSTRIAIS:

- Locais longe de indústrias poluentes do ar, sem influência de ventos que possam carrear esses poluentes - índice zero;
- Locais próximo de indústrias poluentes do ar, sem influência de ventos a mais de 2 km - índice 2;
- Locais próximo de indústrias poluentes do ar, com ou sem influência de ventos (a menos de 500m) ou na própria indústria, com grande carga poluente - índice 6.

3.1.4 QUANTO AO TEMPO DE MOLHABILIDADE:

- Locais internos e abrigados - índice zero;
- Locais externos de baixo índice pluviométrico, temperaturas médias altas, pouca amplitude térmica e alta taxa de evaporação – índice 1;
- Locais externos de médio índice pluviométrico, temperaturas medianas, média amplitude térmica e condições médias de evaporação – índice 2;
- Locais externos de alto índice pluviométrico, ou alta amplitude térmica ou ainda baixa taxa de evaporação – índice 3;

3.1.5 QUANTO À PRESENÇA DE MATERIAIS PARTICULADOS NA ATMOSFERA COM POSSIBILIDADE EVIDENTE DE DEPÓSITO SOBRE AS INSTALAÇÕES:

- Ausência de materiais particulados na atmosfera - índice zero;
- Materiais particulados de pouca capacidade de absorção de umidade – índice 1;
- Materiais particulados de grande capacidade de absorção de umidade, como finos de madeira, por exemplo – índice 2.

3.1.6 QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS INTRÍNSECAS DA INSTALAÇÃO:

- Instalação com predominância absoluta de superfícies planas e soldas bem-acabadas - índice zero;
- Instalação com alguma presença de condições especiais (frestas, flanges e parafusos) e/ou algumas soldas mal-acabadas - índice 2;
- Instalação com extensiva presença de condições especiais (frestas, flanges, parafusos, talas de junção, cantos e arestas) e ou soldas mal-acabadas - índice 4.

A classificação de corrosividade considerando todos estes parâmetros, após somatório pode ser vista na tabela 01.

Tabela 01 – Graus de Corrosividade Atmosférica

Total de Pontos	Risco de Corrosão	Classificação da Corrosividade *	Observação
0 a 3	Risco baixo	C1 e C2.	A corrosão atmosférica não será o maior risco.
4 a 6	Risco médio	C3.	Há necessidade de se ter alguma preocupação com a corrosão atmosférica.
7 a 9	Risco alto	C4	A corrosão atmosférica será um grande risco.
10 a 12	Risco altíssimo	C5.	A corrosão atmosférica será de altíssimo risco,
≥13	Risco extremamente alto	Cx	A corrosão poderá ser severa.

De acordo com a norma NBR ISO 9223.

Observação: os ambientes nas interfaces sob isolamentos térmicos não se enquadram nas avaliações de corrosividade atmosférica, devendo ser tratados como exceções.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DE CORROSIVIDADE PELOS SOLOS

Os solos são de modo geral muito heterogêneos e os principais exemplos de estruturas enterradas afetadas pela corrosão são:

- Tubulações Industriais Enterradas.
- Dutos em geral
- Tanques enterrados e fundo de tanques apoiados no solo.
- Estacas metálicas de fundações, de contenção e de suportação.
- Estruturas de concreto armado.

Os fatores que determinam a corrosividade de um solo são:

3.2.1 RESISTIVIDADE ELÉTRICA

A resistividade elétrica é o parâmetro que mais impacta a corrosividade de solos. Quanto à resistividade, os solos podem ser considerados muito corrosivos, para valores até 3000 ohm.cm, corrosivos para valores de 3.000 ohm.cm a 30.000 ohm.cm e moderadamente corrosivos para valores acima de 30.000 ohm.cm. É importante observar, também, a variação da resistividade, que pode ensejar o aparecimento de pilhas de concentração iônica diferencial, mais comumente denominada de pilhas de resistividade diferencial.

A umidade é importante no estudo da corrosividade do solo, porque há uma relação inversa da umidade com a resistividade. Para solos mais úmidos, há um decréscimo da resistividade, criando condições para a corrente fluir em seu meio.

A figura 01 mostra a influência da umidade do solo na resistividade elétrica.

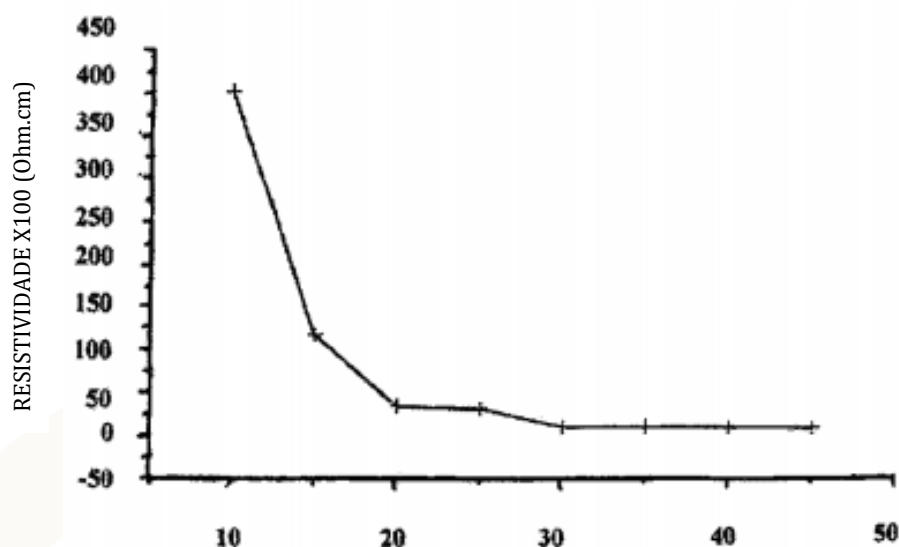


Fig. 01 – Variação da Resistividade Elétrica com o Teor de Umidade

3.2.2 PH DO SOLO

O pH caracteriza o ambiente físico de um solo, sendo este o resultado da presença de H^+ que sofre a influência dos diferentes componentes do meio. Os solos são, em geral, muito heterogêneos, devido alguns fatores:

- A presença de ácidos orgânicos ou inorgânicos e os hidróxidos solúveis, tem influência direta na variação do pH;
- Sais hidrolisáveis, que conferem características ácidas ou básicas podem influenciar no valor do pH.

A melhor faixa de solubilidade dos sais situa-se entre pH 5,5 e 6,5.

Quanto ao pH os solos são considerados muito corrosivos para pH abaixo de quatro, corrosivos para pH de quatro a sete e pouco corrosivos acima de sete.

Acima de pH oito os solos podem ser considerados corrosivos para alguns metais anfóteros (Al, Zn, Pb, Sn e Sb).

3.2.3 GRAU DE AERAÇÃO DO SOLO

Quanto ao grau de aeração, os solos podem ser considerados muito corrosivos para aqueles bastante permeáveis, corrosivos para os de média permeabilidade e pouco corrosivos para os compactados. Neste aspecto o tipo de constituinte é fundamental, por exemplo, os solos argilosos tendem a ser mais compactos.

3.2.4 PRESENÇA DE BACTÉRIAS

As bactérias presentes no solo podem ser aeróbias, geradoras de ácidos por fermentação de matérias orgânicas ou anaeróbias, que promovem despolarização catódica, como as redutoras de sulfato. Quanto à presença de bactérias, os solos podem ser considerados muito corrosivos para aqueles com forte ação de bactérias, corrosivos para os com média ação e pouco corrosivos para aqueles com fraca ação.

Microrganismos como algas, fungos ou bactérias, que formam grandes colônias, criam uma região de concentração de oxigênio entre as colônias que se fixam sobre o metal. A corrosão ocorre simplesmente porque se forma uma célula de aeração diferencial.

Um dos indicadores para avaliar a corrosividade por bactérias é o chamado Potencial Redox. Esse parâmetro indica a “proporção” entre as substâncias oxidantes e redutoras presentes no solo.

A medição do potencial redox permite uma avaliação quantitativa da tendência de o sistema ser um mais oxidante ou mais redutor. Sua medida consiste na determinação do potencial de um eletrodo de platina, usando como referência um eletrodo cobre/sulfato de cobre.

O cálculo do potencial redox é realizado para obtenção do valor em relação ao hidrogênio através de seguinte expressão:

$$EH = E + 0,316 + 0,06 (\text{pH} - 7,0)$$

Onde:

EH – potencial redox no pH 7,0 (em relação ao hidrogênio) em (V);

E – potencial medido em eletrodo de platina em relação ao eletrodo de Cu/CuSO₄ (em V)

pH – valor medido em campo.

3.2.5 POTENCIAIS ELETROQUÍMICOS E CORRENTES DE INTERFERÊNCIA

Há dois fatores muito importantes na avaliação da corrosividade de solo, ambos são fatores não inerentes ao solo propriamente dito, no entanto, podem impactar de forma significativa a análise de corrosividade. Um deles é o potencial estrutura/solo. Através do potencial pode-se avaliar, dentre outras coisas, a atividade eletroquímica, a presença de macropilhas de corrosão e ainda a existência de correntes de interferência em corrente contínua e em corrente alternada. O outro fator são estas correntes de interferência que podem acelerar os processos corrosivos de forma extremamente importante.

Dentre os fatores citados há aqueles que afetam diretamente a corrosividade dos solos: resistividade elétrica, pH, umidade e presença de bactérias, que são medidos em campo.

Há ainda outros fatores que aumentam o risco de corrosão, tais como: variação de resistividade elétrica, atividade eletroquímica, existência de pares galvânicos e existência de correntes de interferência, estes parâmetros podem também ser medidos ou avaliados no projeto.

A resistividade elétrica é medida no local da estrutura pelo método dos quatro pinos de Wenner. O pH e a umidade também podem ser medidos e a presença de bactérias pode ser avaliada por meio de medição do Potencial Redox.

As bactérias presentes no solo podem ser aeróbias, geradoras de ácidos por fermentação de matérias orgânicas ou anaeróbias, que promovem despolarização catódica, como as redutoras de sulfato. Quanto à presença de bactérias, os solos podem ser considerados muito corrosivos para aqueles com forte ação de bactérias, corrosivos para os com média ação e pouco corrosivos para aqueles com fraca ação.

Microrganismos como algas, fungos ou bactérias, que formam grandes colônias, criam uma região de concentração de oxigênio entre as colônias que se fixam sobre o metal. A corrosão ocorre simplesmente porque se forma uma célula de aeração diferencial.

Um dos indicadores para avaliar a corrosividade por bactérias redutoras de sulfatos é o chamado Potencial Redox. Esse parâmetro indica, como foi mencionado anteriormente, a “proporção” entre as substâncias oxidantes e redutoras presentes no solo.

A medição do potencial redox permite uma avaliação quantitativa da tendência de o sistema ser um mais oxidante ou mais redutor. Sua medida consiste na determinação do potencial de um eletrodo de platina, usando como referência um eletrodo cobre/sulfato de cobre.

Quanto aos fatores que aumentam o risco de corrosão pelo solo a atividade eletroquímica e a existência de correntes de interferência podem ser avaliadas pelos potenciais eletroquímicos, ou seja, quanto mais negativo maior é a atividade eletroquímica e potenciais flutuantes ou muito pouco negativos indicam a presença de correntes de interferência ou existência de resistividade elétrica elevada.

No que concerne a existência de pares galvânicos é possível identificar pela análise do projeto.

A avaliação de riscos de corrosão nas estruturas enterradas é realizada considerando-se os pesos dos vários aspectos que impactam a corrosividade dos solos, da seguinte forma:

3.2.6 QUANTO À RESISTIVIDADE ELÉTRICA:

- Solos com resistividade elétrica acima 30.000 Ohm.cm, relativamente homogêneos (com variação de resistividade inferior a 1%) - índice 1;
- Solos com resistividade elétrica entre 3.000 e 30.000 Ohm.cm, relativamente homogêneos (com variação de resistividade inferior a 1%) (principalmente abaixo de 10.000 Ohm.cm) - índice 2;
- Solos com resistividade elétrica abaixo de 3.000 Ohm.cm, relativamente homogêneos (com variação de resistividade inferior a 1%) - índice 4.

3.2.7 QUANTO À HETEROGENEIDADE DO SOLO, PARA O CASO DE ESTRUTURAS QUE SE SITUAM EM VÁRIOS TIPOS DE SOLOS:

- Solos com pouca ou nenhuma variação nos valores de resistividade elétrica, (com variação de resistividade inferior a 1%), ou ainda variações em valores acima de 50.000 Ohm.cm - índice zero;
- Solos com variação nos valores de resistividade elétrica, (variação de resistividade entre 1 e 10%) - índice 1;
- Solos com variação nos valores de resistividade elétrica, (variação de resistividade entre 10 e 50%) - índice 2;
- Solos com variação nos valores de resistividade elétrica, (variação de resistividade entre 50 e 100%) - índice 3;
- Solos com variação nos valores de resistividade elétrica, (variação de resistividade acima de 100%) - índice 4.

3.2.8 QUANTO AO PH:

- Solos com pH abaixo de 5,5 – índice 4;
- Solos com pH acima de 5,5 – índice 1.

3.2.9 QUANTO AO RISCO DE CORROSÃO BACTERIANA:

- Potencial redox acima de 400 mV – índice zero;
- Potencial redox entre 200 e 400 mV – índice 2;
- Potencial redox entre Zero e 200 mV – índice 4;
- Potencial redox abaixo de zero mV – índice 6.

3.2.10 QUANTO À UMIDADE DO SOLO:

- Solo seco (umidade próxima de zero, umidade somente durante chuvas) – índice 1;
- Solo úmido (umidade até 20%) – índice 3;
- Solo úmido (umidade acima 20%) – índice 4.

3.2.11 QUANTO À ATIVIDADE ELETROQUÍMICA:

- Potenciais até -0,4 V – índice 0.
- Potenciais de -0,4 V a 0,5 V – índice 1;
- Potenciais de -0,5 V a 0,6 – índice 2;
- Potenciais acima de -0,6 V – índice 4.

3.2.12 QUANTO À POSSIBILIDADE DE CORROSÃO GALVÂNICA, PRINCIPALMENTE POR ATERRAMENTOS:

- Inexistência de pares galvânicos – índice zero
- Existência de pares galvânico – índice 5

3.2.13 QUANTO À POSSIBILIDADE DE CORROSÃO ELETROLÍTICA:

- Locais sem correntes de interferência – índice zero
- Locais com correntes de interferência moderadas – índice 3
- Locais com fortes correntes de interferência – índice 8.

A classificação corrosividade considerando, após o somatório de todos estes parâmetros pode ser vista na tabela 02.

Tabela 02 – Graus de corrosividade dos solos

<i>Total de Pontos</i>	<i>Risco de Corrosão</i>	<i>Classificação de Corrosividade (Nota)</i>	<i>Observação</i>
0 a 3	Risco baixo	CS1 e CS2.	A corrosão pelo solo não será o maior risco
4 a 6	Risco médio	CS3.	Há necessidade de preocupar com a corrosão pelo solo de forma moderada
7 a 9	Risco alto	CS4	A corrosão pelo solo será um grande risco
10 a 12	Risco altíssimo	CS5.	A corrosão pelo solo será um altíssimo risco
≥13	Risco extremamente alto	CS6	A corrosão poderá ser severa

Nota: CS1 – Corrosividade pelo solo em nível 1. Para os demais vão se alterando os índices.

3.3 CORROSIVIDADE PELAS ÁGUAS

Designa-se corrosão pela água os processos corrosivos observados em estruturas submersas (rios, lagos, mar etc.) e sistemas que trabalhem com água no seu interior.

As estruturas sujeitas a esta corrosão são: estacas de píncos, tubulações submersas, embarcações, instalações de água de refrigeração, instalações de geração de vapor, instalações de tratamento e distribuição de água, instalações petrolíferas (água produzida), estruturas de concreto armado etc.

Para estruturas submersas em água doce, as taxas de corrosão dependerão da quantidade de sais, ácidos ou bases dissolvidas. A presença de ácidos normalmente acelera o processo corrosivo. A presença de bases em geral retarda o processo corrosivo (exceção para os metais anfóteros como o zinco e o alumínio). A presença de sais acelera os processos, excetuando os que funcionam como inibidores e os de base forte e ácido fraco que hidrolisam, dando caráter básico à solução.

As estruturas submersas em água salgada estão sempre sujeitas a grande taxa de corrosão, particularmente em meios aerados, que poderão ser ainda aumentados pela presença de poluentes.

Tanto para estruturas imersas em água doce quanto salgada as taxas de corrosão poderão ser diminuídas ou aumentadas de acordo com o teor de oxigênio dissolvido. Mesmo na presença de água salgada, uma estrutura de aço terá taxas de corrosão desprezíveis se o teor de oxigênio dissolvido for praticamente nulo.

3.3.1 FATORES QUE DETERMINAM A CORROSIVIDADE DAS ÁGUAS

3.3.1.1 Resistividade Elétrica

Quanto à resistividade, as águas podem ser consideradas muito corrosivas, para valores até 3 000 ohm.cm, onde inclui-se a água do mar com resistividade média de 30 ohm.cm, corrosivas, para valores de 3 000 ohm.cm a 15 000 ohm.cm; e moderadamente corrosivas, para valores acima de 15 000 ohm.cm.

3.3.1.2 pH da água

Quanto ao pH, as águas são consideradas muito corrosivas, para pH abaixo de quatro; corrosivas, para pH de quatro a sete; e pouco corrosivas, acima de sete. Acima de pH sete, as águas podem ser consideradas corrosivas para os metais anfóteros (Al, Zn, Pb, Sn e Sb).

3.3.1.3 Grau de Aeração

Quanto ao grau de aeração, as águas podem ser consideradas muito corrosivas, quando muito aeradas; corrosivas, para condições de média aeração; e pouco corrosivas, quando desaeradas; neste particular, a movimentação é fundamental, pois favorece a dissolução de oxigênio.

3.3.1.4 Presença de Bactérias

As bactérias podem ser aeróbicas, geradoras de ácidos por fermentação de matérias orgânicas, ou anaeróbicas, que promovem despolarização catódica, como as redutoras de sulfato. Quanto à presença de bactérias, as águas podem ser consideradas muito corrosivas, para solos com forte ação de bactérias; corrosivas, para águas com média ação; e pouco corrosivas, para águas com fraca ação. As bactérias podem acelerar os processos corrosivos como será visto no tópico seguinte.

3.3.1.5 Temperatura

As temperaturas têm uma ação direta sobre a corrosividade, pois aceleram as reações de corrosão e causam despolarização; assim sendo, quanto à temperatura as águas podem ser consideradas muito corrosivas, para temperaturas acima do ambiente; mediantemente corrosivas, para temperaturas baixas, pela maior dissolução de oxigênio; e corrosivas, para a temperatura ambiente.

3.3.1.6 Movimentação – Velocidade

A movimentação tem uma ação despolarizante e, desta forma, as águas podem ser consideradas muito corrosivas, quando possuem alta movimentação (movimento turbulento); corrosivas, para média movimentação; e pouco corrosivas, quando estagnadas.

3.3.1.7 Contaminação com Produtos Químicos

Os produtos químicos, se presentes na água, têm sua ação diretamente ligada ao processo de hidrólise com geração de ácido. Quanto à presença de produtos químicos, as águas podem ser consideradas muito corrosivas, quando da hidrólise resultar um ácido forte; corrosivas, quando da hidrólise resultar um ácido moderado; e pouco corrosivas, quando da hidrólise resultar um ácido fraco.

3.3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS QUANTO À CORROSIVIDADE

Sintetizando, pode-se classificar a corrosividade das águas em três grandes grupos:

- Águas Muito Corrosivas – AMC – Resistividade abaixo de 3 000 ohm.cm, pH abaixo de sete, forte aeração, grande movimentação independente de temperatura alta ou baixa e da presença ou não de bactérias.
- Águas Corrosivas – ACO – Resistividade entre 3 000 e 30 000 ohm.cm, pH abaixo de sete, pouca movimentação. A aeração, a temperatura e a presença ou não de bactérias têm razoável importância.
- Águas Pouco Corrosivas – APC – Resistividade acima de 30 000 ohm.cm, pH acima de sete, têm forte influência a aeração, a temperatura e a presença ou não de bactérias.

Na corrosão das estruturas submersas ou em contato com as águas existem os fatores que afetam diretamente a corrosividade, tais como: teor de oxigênio, pH, resistividade elétrica e presença de bactérias.

Há ainda os fatores que aumentam o risco de corrosão: elevação de temperatura, velocidade (despolarização), Presença de partículas sólidas (erosão) e existência de pares galvânicos.

Os teores de oxigênio, pH e resistividade elétrica podem ser medidos ou monitorados no processo. Quanto à presença de bactérias pode ser avaliada pelo potencial redox ou através de cultura.

As temperaturas, velocidades e presença de partículas são monitoradas no processo e a existência de pares galvânicos pode ser verificado no projeto. É sempre conveniente determinar também o Índice de Langelier para se ter um indicativo se a água é corrosiva ou incrustante.

A avaliação de riscos de corrosão nas estruturas submersas é realizada considerando-se os pesos dos vários aspectos que impactam a corrosividade dos solos, da seguinte forma:

3.3.2.1 Quanto à resistividade elétrica

- Águas com resistividade elétrica acima 30.000 Ohm.cm, - índice zero;
- Águas com resistividade elétrica entre 3.000 e 30.000 Ohm.cm, (principalmente abaixo de 10.000 Ohm.cm) - índice 1;
- Águas com resistividade elétrica abaixo de 3.000 Ohm.cm, - índice 3.

3.3.2.2 Quanto ao pH

- Águas com pH abaixo de 6,0 – índice 4;
- Águas com pH entre 6,0 e 7,5 – índice 3;
- Águas com pH acima de 7,5 – índice 2.

3.3.2.3 Quanto ao risco de corrosão bacteriana:

- Ausência de bactérias – índice zero;
- Presença de bactérias – índice 4.

3.3.2.4 Quanto à Oxigenação da água:

- Águas com teores de oxigênio abaixo de 1,0 ppm – índice zero;
- Águas com teores de oxigênio entre 1,0 e 3,0 ppm – índice 2;
- Águas com teores de oxigênio entre 3,0 e 4,5 ppm – índice 4;
- Águas com teores de oxigênio entre acima de 4,5 ppm – índice 7.

3.3.2.5 Quanto à possibilidade de corrosão galvânica principalmente em hélices de navios e tubos de permutadores de calor:

- Inexistência de pares galvânicos – índice zero;
- Pares galvânicos leves – Índice 3
- Pares galvânicos significativos – índice 5.

3.3.2.6 Quanto à Temperatura da água:

- Temperaturas abaixo de 30°C – índice 1;
- Temperaturas cima de 30°C – índice 2.

3.3.2.7 Quanto à Velocidade da água:

- Água para ou com pouco movimento – índice 1;
- Água com grande movimento – índice 2.
- Água com fortíssimo movimento (turbulento) – índice 3
- Águas com movimento e presença de partículas sólidas – índice 5

A classificação de risco de corrosão considerando todos estes parâmetros após o somatório dos mesmos pode ser vista na tabela 03.

Tabela 03 – Classificação de nível de corrosividade pela água

Total de Pontos	Risco de Corrosão	Classificação de Corrosividade (Nota)	Observação
0 a 3	Risco baixo	CA1 e CA2.	A corrosão pela água não será o maior risco
4 a 6	Risco médio	CA3.	Há necessidade de preocupar com a corrosão pela água
7 a 9	Risco alto	CA4	A corrosão pela água será um grande risco
10 a 12	Risco altíssimo	CA5.	A corrosão pela água será de altíssimo risco
≥ 13	Risco extremamente alto	CA6	A corrosão poderá ser severa

Nota: CA1 – Corrosividade da água em nível 1. Para os demais vão se alterando os índices.

3.4 RISCO DE CORROSÃO EM MEIOS MUITO AGRESSIVOS

Os meios muito agressivos são de modo geral meios:

- Ácidos associados ou não às temperaturas altas;
- Compostos cloretados também associados ou não às temperaturas altas;
- Redutores para materiais passiváveis, especialmente aços inoxidáveis;
- Altamente básicos associados a temperaturas elevadas;
- Com expressiva associação de corrosão e erosão.

Nestes casos o nível de corrosividade é sempre elevado.

4.0 PRÁTICAS DE PROTEÇÃO ANTICORROSIVA

As principais práticas de proteção que podem ser aplicadas utilizando-se esta metodologia de avaliação de nível de corrosividade são as seguintes:

4.1 PARA ESTRUTURAS AÉREAS:

- Pintura anticorrosiva
- Revestimento por galvanização a quente

4.2 PARA ESTRUTURAS ENTERRADAS OU SUBMERSAS:

- Revestimentos e proteção catódica

4.3 PARA ESTRUTURAS COM ÁGUA EM SEU INTERIOR:

- Inibidores de corrosão e outras práticas de modificação de meios corrosivos.

4.4 PARA MEIOS MUITO AGRESSIVOS:

- Uso de materiais altamente resistentes à corrosão
- Aplicação de revestimentos metálicos de alta resistência à corrosão
- Aplicação de revestimentos poliméricos de alto desempenho.

Observação importante: a aplicação de práticas de proteção anticorrosiva requer conhecimento e experiência e desta forma é recomendável que todos os trabalhos relacionados aos sistemas de proteção anticorrosiva sejam executados, no que couber, por profissionais certificados conforme procedimentos da Associação Brasileira de Corrosão, relativos à Pintura Anticorrosiva, Proteção Catódica e Galvanização por Imersão à Quente.

5.0 CONCLUSÕES

Com o conhecimento da corrosividade ambiental a utilização de práticas de proteção poderá ser aplicada com maior confiabilidade e garantia de adequado desempenho.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Nunes, Laerce P. – Fundamentos de Resistência à Corrosão – Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2ª edição 2025.
- Gentil, Vicente – Corrosão, 7ªed. LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora, 2022.
- Nunes, Laerce P. – Materiais – Aplicações de Engenharia – Seleção e Integridade – Editora Interciência, Rio de Janeiro
- Nunes, Laerce P. e Lobo, Alfredo O. – Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva Interciência, Rio de Janeiro, 5ª Edição.
- DUTRA, A. C. & NUNES, L. P. - Proteção Catódica - Técnica de Combate à Corrosão 5ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011.
- IEC - Sistemas de Proteção Catódica, 2ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência – 2020.