

A IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO CATÓDICA PARA ADUTORAS ENTERRADAS, TANQUES DE AÇO E ESTRUTURAS DE CONCRETO

Luiz Paulo Gomes

Engenheiro pela Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Pós Graduação em Engenharia de Equipamentos de Petróleo e Gás, Diretor Técnico da IEC Engenharia, Autor dos Livros Proteção Catódica e Sistemas de Proteção Catódica.

Endereço: Avenida Presidente Vargas, 633/20º.Andar – Centro – Rio de Janeiro – RJ – CEP 20071-905.- Brasil -Tel: +55 (21) 99226-8810 - e-mail: LPgomes@iecengenharia.com.br

RESUMO

Os sistemas de proteção catódica são de fundamental importância para eliminar os processos corrosivos, pelo solo e por correntes de fuga, que destroem as instalações de aço enterradas, submersas ou embutidas no concreto. Sem a instalação de proteção catódica torna-se rigorosamente impossível operar com segurança e economia as adutoras de aço enterradas, os tanques de armazenamento construídos em aço e as ferragens das estruturas de concreto das estações de tratamento de água e esgoto. No presente trabalho mostramos como funcionam os processos corrosivos nessas instalações e como os sistemas de proteção catódica são utilizados para a garantia da segurança operacional desses ativos, de fundamental importância para as companhias de saneamento de um modo geral.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão, Proteção Catódica, Adutoras, Tanques, Aço, Concreto

INTRODUÇÃO

A proteção catódica é uma tecnologia fantástica, de vital importância para o mundo moderno, uma vez que permite proteger contra a corrosão instalações metálicas enterradas ou submersas como adutoras, oleodutos, gasodutos, alcôodutos, polidutos, querodutos, tanques de armazenamento de água, petróleo e derivados, plataformas de petróleo, instalações portuárias, navios, embarcações e armaduras de aço de estruturas de concreto armado ou protendido de pontes, viadutos e edificações de um modo geral. Sem a tecnologia da proteção catódica seria impossível operar com segurança e economia essas importantes instalações e em especial as adutoras, os tanques de armazenamento e as estações de tratamento de água e esgoto das companhias de saneamento do mundo inteiro.

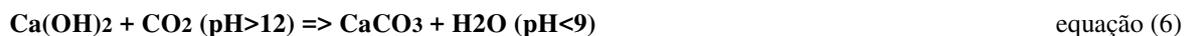
Todas essas obras estão sempre sujeitas a sérios problemas de corrosão, causados pelo solo, pelas correntes de fuga dos sistemas de tração eletrificada (metrô e ferrovias para o transporte de passageiros) e pela absorção de água, cloretos, CO₂, produtos químicos e outros poluentes, para o caso das estruturas de concreto.

ENTENDA PORQUE AS ADUTORAS E TANQUES SE CORROEM

A corrosão de instalações de aço enterradas, submersas ou embutidas no concreto é um fenômeno elétrico, mais precisamente um fenômeno eletroquímico. As heterogeneidades normais do aço e as variações de resistividade elétrica, pH, umidade, cloretos, composição química e temperatura dos solos, das águas e dos concretos, dão origem a pilhas de corrosão importantes, que corroem o aço de acordo com as equações seguintes, muito conhecidas:



Para o caso das estruturas de concreto a absorção de CO₂, muito comum de acontecer, provoca a carbonatação do concreto, diminuindo o pH e despassivando o aço, de acordo com a equação abaixo, também muito conhecida:



Quando as adutoras enterradas, os tanques de aço ou as estruturas de concreto são construídos nas proximidades de linhas férreas eletrificadas com corrente contínua (metrô e trens urbanos), situação muito comum de acontecer nas grandes cidades, eles ficam sujeitos às correntes de fuga ou correntes de interferência, que somadas à corrosão normal do solo, da água ou do concreto, causam grandes prejuízos se não forem adequadamente protegidos. E nesses casos, somente a instalação dos sistemas de proteção catódica conseguem resolver o problema.

As figuras 1 e 2 mostram o funcionamento das pilhas de corrosão eletrolítica em uma adutora enterrada nas proximidades de uma ferrovia eletrificada e o efeito extremamente nocivo do processo corrosivo, com um grande furo na parede da adutora.

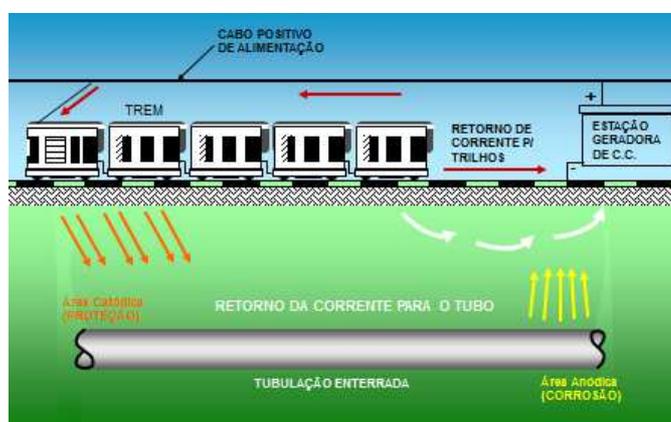


Figura 1: Exemplo de interferência elétrica de uma ferrovia eletrificada sobre uma adutora enterrada. É impossível operar a adutora com segurança sem a instalação de um sistema de proteção catódica.



Figura 2: Furo em uma adutora enterrada causado por corrosão. Somente a instalação do sistema de proteção catódica consegue evitar que problemas como esse aconteçam.

As adutoras de aço enterradas podem ficar sujeitas, também, a problemas de interferência eletromagnética, que causam problemas de corrosão e de segurança às pessoas e aos operadores. Esses problemas aparecem quando a adutora cruza ou se aproxima com uma ou mais linhas de transmissão elétrica em alta tensão, muito comum de ocorrer, conforme pode ser visto na figura 3.

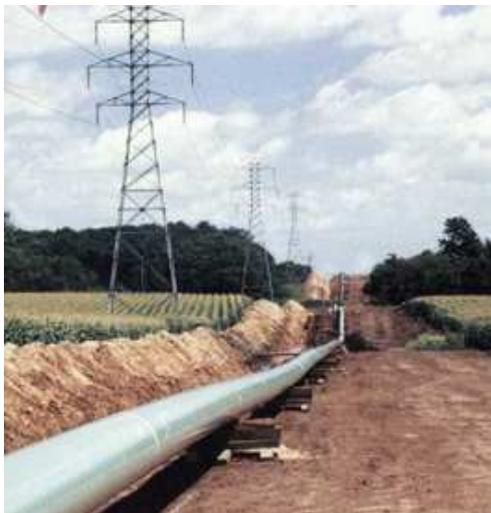


Figura 3: Adutora de aço em construção junto a uma linha de transmissão elétrica em alta tensão. Nesses casos a adutora fica influenciada por interferências eletromagnéticas que precisam ser estudadas, diagnosticadas e eliminadas com a instalação do sistema de proteção catódica.

As estruturas de concreto das estações de tratamento também são muito influenciadas pelos problemas de corrosão das ferragens e, também nesses casos, os sistemas de proteção catódica devem ser utilizados para garantir a segurança operacional e a manutenção dessas instalações.



Figura 4: Corrosão em estrutura de concreto de Estação de Tratamento de Esgoto. Esses problemas somente podem ser resolvidos em definitivo com a instalação dos anodos de proteção catódica.

PROTEÇÃO CATÓDICA DE ADUTORAS DE AÇO

Para a proteção catódica das adutoras de aço, normalmente de grande diâmetro e grande extensão, utilizamos os sistemas de proteção catódica do tipo por corrente impressa, com a utilização de um ou mais retificadores

de corrente complementados por leitos de anodos do tipo inerte, de ferro.silício.cromo ou de titânico revestido com óxidos mistos de metais nobres.

A finalidade de cada conjunto retificador/leito de anodos é injetar no solo uma corrente elétrica de natureza contínua, que saindo dos anodos, flui pelo solo e alcança os tubos enterrados, modificando o seu potencial em relação ao solo (potencial tubo/solo) e eliminando o funcionamento das pilhas de corrosão, conforme pode ser visto na figura 5.

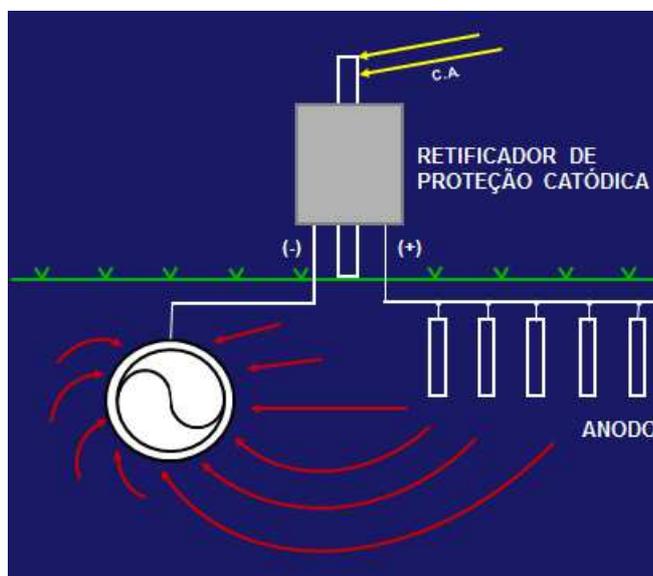


Figura 5: Esquema de funcionamento do sistema de proteção catódica de uma adutora enterrada. O retificador converte a corrente alternada de alimentação em corrente contínua, injeta essa corrente na tubulação (através dos anodos), modificando o potencial dos tubos em relação ao solo (Potencial Tubo/Solo) e garantindo a proteção contra a corrosão da adutora.

PROTEÇÃO CATÓDICA DE ADUTORAS DE FERRO DUCTIL

Para a proteção catódica das adutoras de ferro fundido e ferro dúctil a proteção catódica deve ser seletiva, nos locais de maior agressividade do solo. O procedimento a ser adotado está definido pela Norma AWWA C 105, de acordo com o seguinte:

Primeira Etapa: Fazer medições de campo para verificar a agressividade do solo em termos de corrosão, com a determinação dos valores de resistividade elétrica, pH, potencial Redox, presença de sulfetos, teor de umidade e pesquisa da presença de correntes de interferência(*)).

(*)**OBSERVAÇÃO IMPORTANTE:** Quando a adutora estiver influenciada por correntes de fuga provenientes de ferrovias eletrificadas (metrô e trens urbanos) e outras fontes de interferência, como os sistemas de proteção catódica de tubulações de terceiros, a proteção catódica deverá ser sempre utilizada, independentemente dos resultados da pesquisa da agressividade do solo.

Segunda Etapa: Determinação do grau de agressividade do solo, mediante utilização da tabela 1, onde são atribuídos pontos em função dos valores medidos no campo. Nessa avaliação, quando se atinge 10 pontos em uma determinada região significa que o solo local é agressivo para os tubos de ferro, tornando-se necessário a instalação de proteção catódica.

Terceira Etapa: Instalação dos anodos de proteção catódica, durante ou após a construção da adutora. Nesse caso poderão ser utilizados anodos galvânicos ou inertes e a experiência do projetista de proteção catódica é de fundamental importância para essa definição.

Tabela 1
Teste de Avaliação da Agressividade do Solo (AWWA C105)

Característica do Solo	Número de Pontos (*)
Resistividade Elétrica (ohm.cm)	
<700	10
700-1000	8
1000-1200	5
1200-1500	2
1500-2000	1
>2000	0
Valor do pH	
0-2	5
2-4	3
4-6,5	0
6,5-7,5	0 (**)
7,5-8,5	0
>8,5	3
Potencial Redox	
> + 100 mV	0
+50 a +100 mV	3,5
0 a +50 mV	4
Negativo	5
Presença de Sulfetos	
Positivo	3,5
Traços	2
Negativo	0
Presença de Umidade	
Drenagem pobre, continuamente úmido:	2
Drenagem razoável, normalmente úmido:	1
Boa drenagem, geralmente seco:	0

NOTAS : (*)Dez pontos significam solo corrosivo para ferro fundido, com a necessidade de proteção catódica.
(**) Se sulfetos estiverem presentes e o potencial redox for negativo ou de baixo valor na faixa de pH entre 6,5 e 7,5 devem ser somados 3 (três) pontos.

PROTEÇÃO CATÓDICA DE TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Os tanques de aço para o armazenamento de água apresentam, com o passar do tempo, sérios problemas de corrosão interna (fundo e costado em contato com a água) e externa (fundo em contato com o solo ou base de concreto), necessitando sempre serem protegidos catódicamente.

Nesses casos, principalmente nos tanques maiores, utilizamos os sistemas do tipo por corrente impressa, com a instalação de um retificador e anodos inertes instalados no solo (para a proteção da parte externa do fundo do tanque) e anodos instalados internamente, com contato com a água (para a proteção das superfícies internas).

Para o caso de pequenos tanques, a instalação de anodos galvânicos pode ser mais econômica, a depender de um estudo de viabilidade técnica e econômica.

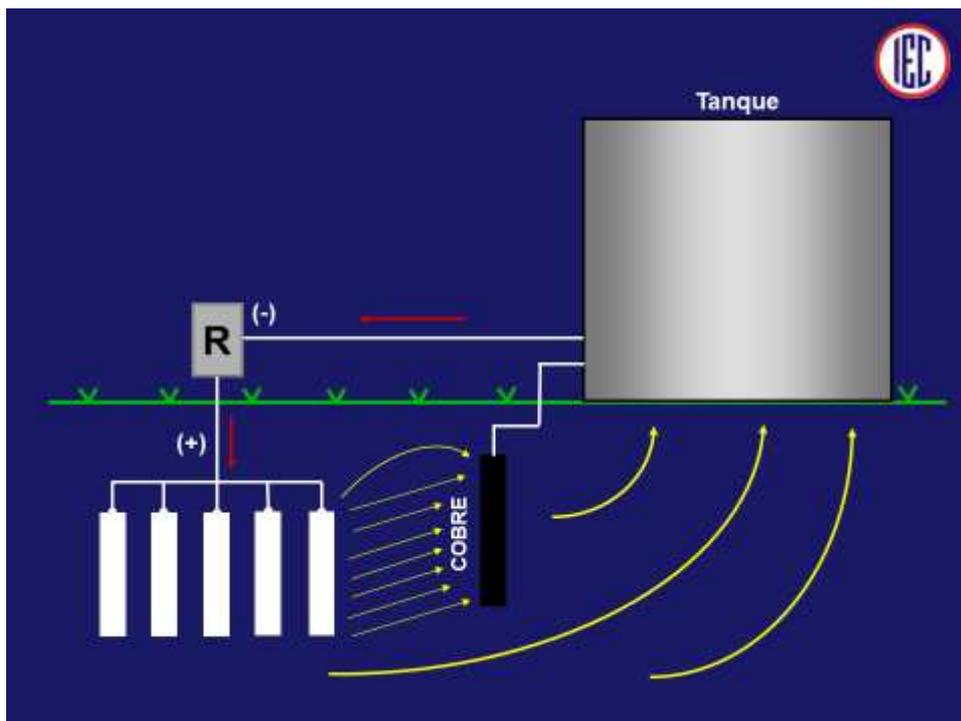


Figura 6: Esquema de funcionamento do sistema de proteção catódica por corrente impressa para um tanque de armazenamento. Para a proteção catódica interna os anodos são instalados dentro do tanque e em contato com a água.

Nesses casos, o projeto de proteção catódica deve considerar sempre a existência do sistema de aterramento elétrico dos tanques, construídos com hastes de cobreadas e cabos de cobre nú, que absorvem parte da corrente de proteção catódica, conforme pode ser visto na figura 6.

As superfícies internas do fundo e do costado do tanque são protegidos com a instalação de anodos inertes de Titânio MMO, que podem ser instalados com o tanque cheio e em operação normal. Esses anodos são também ligados a um retificador de proteção catódica, que pode ou não ser o mesmo retificador usado para a proteção externa, dependendo do projeto.

O projetista de proteção catódica deve ter sempre em mente que as superfícies internas dos tanques são revestidas internamente, o que reduz drasticamente a intensidade da corrente necessária para a sua proteção interna.

Para o acompanhamento operacional e verificação do funcionamento eficiente do sistema de proteção catódica interna do tanque devemos sempre instalar um eletrodo de referência permanente de Ag/AgCl em seu interior, em conjunto com os anodos. Esse eletrodo de referência mede permanentemente o potencial do aço em relação à água e orienta o operador sobre a regulagem do retificador de proteção catódica.



Figura 7: Retificador de proteção catódica para a proteção de um tanque de armazenamento de água.

PROTEÇÃO CATÓDICA DE ARMADURAS DE AÇO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

As armaduras de aço das estruturas de concreto de um modo geral, em especial as estações de tratamento, podem apresentar corrosão severa com o passar do tempo e também necessitam ser protegidas catódicamente. A proteção nesses casos é feita com o auxílio de anodos galvânicos especiais, que podem ser instalados durante a construção da estrutura, durante os serviços de recuperação do concreto ou com a estrutura em operação, sem que as ferragens estejam expostas e nos locais onde a corrosão das ferragens ainda não aflorou.

As figuras 8, 9 e 10 mostram os anodos sendo instalados em cada uma dessas três situações.



Figura 8: Instalação de anodos de proteção catódica em uma obra de concreto em construção. Os anodos são fixados às ferragens antes da concretagem.



Figura 9: Instalação de anodos de proteção catódica durante os serviços de recuperação do concreto.

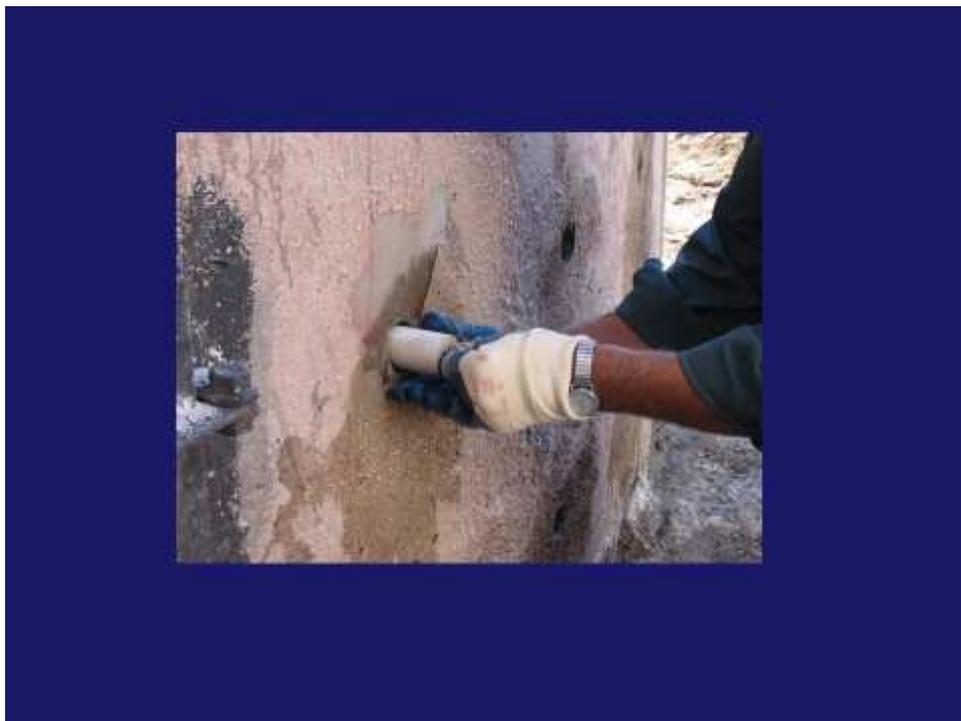


Figura 10: Instalação de anodo de proteção catódica sem que as ferragens estejam aparentes, nos locais onde a corrosão ainda não aflorou. Para diagnosticar a corrosão são feitas medições dos potenciais das ferragens em relação ao concreto, de acordo com a Norma ASTM C-876-15.

MEDIÇÕES DOS POTENCIAIS DE CORROSÃO E DOS POTENCIAIS DE PROTEÇÃO CATÓDICA

As medições dos potenciais de uma determinada estrutura metálica em relação ao meio onde ela se encontra são de fundamental importância para o estudo de corrosão e para a verificação das condições de proteção catódica.

Para essas medições utilizamos sempre um voltímetro de alta impedância e um eletrodo de referência, que pode ser o Eletrodo de Cobre/Sulfato de Cobre-Cu/CuSO₄ (para medições dos potenciais do aço em relação ao solo ou ao concreto) ou o Eletrodo de Prata/Cloreto de Prata-Ag/AgCl (para medições dos potenciais do aço em relação à água).

Para as medições dos potenciais tubo/solo (potencial da adutora em relação ao solo), tanque/solo (potencial do fundo do tanque em relação ao solo), tanque/água (potencial das superfícies internas do tanque em relação à água) ou armadura/concreto (potencial da ferragem em relação ao concreto), os critérios definidos pelas normas técnicas nacionais e internacionais estão mostrados na tabela 2.

Tabela 2: Critérios de Proteção Catódica

ESTRUTURA	CRITÉRIO DE PROTEÇÃO CATÓDICA	NORMA TÉCNICA UTILIZADA
Adutora Enterrada	Potencial Tubo/Solo Igual ou Mais Negativo que -0,85V Medido em Relação ao Eletrodo de Referência de Cu/CuSO ₄ .	ABNT NBR ISO15589-1
Tanque (Fundo/Parte Externa)	Potencial Tanque/Solo Igual ou Mais Negativo que -0,85V Medido em Relação ao Eletrodo de Referência de Cu/CuSO ₄	ABNT NBR ISO15589-1
Tanque (Fundo e Costado/Parte Interna)	Potencial Tanque/Água Igual ou Mais Negativo que -0,80V Medido em Relação ao Eletrodo de Referência de Ag/AgCl	ABNT NBR ISO15589-2
Estruturas de Concreto	Acréscimo de 100mV no Potencial Ferragem/Concreto	ASTM C876-15 ISO12696



Figura 11: Medição do potencial de proteção catódica no Ponto de Teste de uma adutora enterrada. O Ponto de Teste possui um fio elétrico ligado à adutora.



Figura 12: Medições do potencial de uma estrutura de concreto. De acordo com a Norma ASTM C876-15 essas medições permitem identificar os locais onde as ferragens estão se corroendo. Os anodos de proteção catódica devem ser instalados nesses locais.

PROCEDIMENTO RECOMENDADO

O procedimento que temos utilizado com frequência e que recomendamos ser sempre adotado para o estudo, projeto, fornecimento, instalação e pré-operação do sistema de proteção catódica de uma determinada estrutura, seja ela uma tubulação enterrada, um tanque de armazenamento ou uma obra de concreto é o seguinte:

- **Primeira Etapa:** análise dos desenhos, inspeção visual e medições de campo.
- **Segunda Etapa:** análise das informações de campo e elaboração do projeto de proteção catódica, com definição do tipo de sistema a ser utilizado (galvânico ou corrente impressa), especificação dos materiais, desenhos e instruções de instalação.
- **Terceira Etapa:** fornecimento dos equipamentos e materiais e instalação do sistema projetado.
- **Quarta Etapa:** testes e pré-operação do sistema instalado, incluindo as medições dos potenciais de proteção, a elaboração dos documentos “conforme construído” e a emissão dos Certificados de Garantia e Qualidade.

NORMAS TÉCNICAS

As normas técnicas nacionais e internacionais que recomendamos utilizar para as medições de campo, projeto, instalação, operação e manutenção dos sistemas de proteção catódica são as seguintes:

- ABNT NBR ISO15589-1 (Proteção Catódica de Dutos Terrestres)
- ABNT NBR ISO15589-2 (Proteção Catódica de Instalações Submersas)
- NACE SPO 196-2015 (Proteção Catódica Galvânica para as Superfícies Internas de Tanques de Aço para Armazenamento de Água).
- NACE SPO 388-2014 (Proteção Catódica por Corrente Impressa para as Superfícies Internas de Tanques de Aço para Armazenamento de Água).
- NACE SP0193-2016-SG (External Cathodic Protection of On-Grade Carbon Steel Storage Tank Bottoms)
- API RP 651:2014 (Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks).
- ASTM C 876-15 (Standard Test Method for Corrosion Potentials Uncoated Reinforced Steel in Concrete).
- ISO12696:2016 (Cathodic Protection of Steel in Concrete)
- NACE SP0187-2017 (Design for Corrosion Control of Reinforcing Steel in Concrete)
- NACE SP0112-2017 (Corrosion Management of Atmospheric Exposed Reinforced Concrete Structures)
- NACE SP0290-2007 (Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures)
- NACE SP0408 (Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Buried or Submerged Concrete Structures).

CONCLUSÃO

Os problemas de corrosão em adutoras enterradas, tanques de armazenamento e estruturas de concreto de um modo geral são bastante frequentes e muito conhecidos dos técnicos que operam essas instalações.

Quando essas obras são construídas nas proximidades de ferrovias eletrificadas (trens urbanos e metrô) e de linhas de transmissão elétrica em alta tensão o problema é ainda mais grave, devido a ocorrência de interferências elétricas e eletromagnéticas, extremamente prejudiciais.

É praticamente impossível operar com segurança e baixo custo essas instalações sem o auxílio de um sistema de proteção catódica, que possui a finalidade de garantir a proteção contra a corrosão do aço quando enterrado, submerso ou embutido no concreto.

A proteção catódica é a única técnica que consegue garantir a proteção contra a corrosão de adutoras, tanques de armazenamento e estruturas de concreto de estações de tratamento, com baixo custo e total segurança, razão pela qual deve ser sempre considerada em obras novas ou já existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GOMES, LUIZ PAULO, *Livro Sistemas de Proteção Catódica, Segunda Edição, Editora Interciência, 2020.*
2. GOMES, LUIZ PAULO, *Livro Proteção Catódica, Publicado pela IEC-Instalações e Engenharia de Corrosão, 1990.*
3. GOMES, LUIZ PAULO, *Importance for Cathodic Protection for the Modern World, publicado pela IPCM – Protective Coatings, 2017.*
4. GOMES, LUIZ PAULO, *Protecting Underground Pipelines Against Corrosion and Electrical Interference. publicado pela IPCM – Protecting Coatings, 2018.*
5. GOMES, LUIZ PAULO, *How to Preserve Concrete Structures With Galvanic Anodes for Cathodic Protection, publicado pela IPCM – Protecting Coatings, 2019.*
6. GENTIL, VICENTE, *Livro Corrosão, 6ª. Edição, Editora LTC, 2011.*

