

# ESTUDO DA CORROSÃO EM DUTOS DE AÇO CARBONO E AÇO GALVANIZADO EM MEIOS ACIDOS COM E SEM PROTEÇÃO CATÓDICA

ARTHUR AVADI<sup>1</sup>  
ADRIANA GISELI LEITE CARVALHO<sup>2</sup>  
ISMAEL RODRIGUES AMADOR<sup>3</sup>

## Resumo

A conscientização da importância que se deve dar à proteção anticorrosiva tem aumentado significativamente no meio técnico. A corrosão não é um fato consumado, pois hoje tem-se o conhecimento da maior parte dos fenômenos que a originam, possibilitando evitá-los. Em um projeto industrial os materiais construtivos, o desenho, os inibidores para água de resfriamento, os sistemas de pintura adequados e a proteção catódica possibilitam a redução das manutenções e da degradação de estruturas e máquinas evitando assim paradas para troca de peças ou de equipamentos corroídos, além da preservação da energia e do meio ambiente. O objetivo dessa pesquisa é obter uma compreensão maior sobre as técnicas contra corrosão. A metodologia aplicada para o desenvolvimento deste artigo foi a coleta de dados através de pesquisa bibliográfica por meio eletrônico tendo como resultado a constatação da importância dos revestimentos e da aplicação da proteção catódica, além da compreensão das técnicas contra a corrosão.

**Palavras-chave:** Duto de aço. Revestimento. Corrosão. Proteção catódica.

## 1 INTRODUÇÃO

---

1 Discente Graduando em Tecnologia em Manutenção Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI de Londrina; arthurecelia@hotmail.com

2 Docente Mestre; Faculdade de Tecnologia SENAI de Londrina; adriana.carvalho@pr.senai.br

3 Docente Mestre; Faculdade Estadual de Londrina UEL; ir.amador@hotmail.com

É notória a degradação do metal por corrosão e que a necessidade de proteção é um fato antigo que provem desde sua descoberta. O ouro e a prata são metais preciosos que a milhares de anos são usados para fabricação de joias e moedas, pois são isento à corrosão ou por ter corrosão menos acentuada em comparação a outros metais em sua condição natural.

Colunas de ferro em Délhi (Índia) foram forjadas em meados do século IV e são resistentes a exposição em condições normais na atmosfera até hoje. Ainda vigas utilizadas na construção do Templo do Sol em Konarak datado do século XII foram utilizadas para resistir á água salgada do mar (RAMANATHAN, 1988). Uma das formas de proteção é através do revestimento que contribui para diminuir a ação da corrosão nos metais, fato conhecido desde o século XII.

Na idade média, compostos orgânicos adicionados a ácidos decapantes tais como o fermento e farelo de farinha foram utilizados na intenção de prevenir a oxidação e fragilização do metal por decapagem, processo esse que visa remoção de impurezas inorgânicas como carepas de laminação, crosta de fundição e incrustações superficiais.

Entre os diferentes métodos utilizados para o controle da corrosão e um dos mais empregados é a proteção catódica, o cientista Sir Humphrey Davy usou a proteção catódica para resolver a corrosão do cobre que revestia o casco de madeira dos navios de guerra de sua Majestade que faziam viagens longas entre a Inglaterra e a Índia no começo do século XIX. Em meados deste período, o cientista inglês, físico e químico Michael Faraday e demais pesquisadores observavam a resistência à corrosão do ferro ligado com cromo (RAMANATHAN, 1988);

Segundo Dutra e Nunes (1987) o processo de controle da corrosão de um modo geral por proteção catódica emprega-se associado ao uso de revestimentos protetores reduzindo de forma considerável a área exposta á corrosão, assim diminuindo-se a intensidade da corrente para a proteção de uma estrutura. Os revestimentos empregados junto com a proteção catódica em diversos tipos de equipamentos e estruturas apresentam os mais variados graus de eficiência durante a vida útil.

Visto algumas observações e métodos no controle da corrosão conhecido pelo homem, nota-se um esforço organizado para conter esse fenômeno que somente na Revolução Industrial, com a difusão tecnológica, é que diferentes produtos como aços inoxidáveis e inibidores anticorrosivos foram disponibilizados (RAMANATHAN, 1988).

Segundo Gentil (2007), entre as inúmeras aplicações de estruturas metálicas de grande porte, como gasodutos, óleo dutos, plataforma de

petróleo, entre outros, muitas vezes se apresentam enterradas ou submersas, tonando-se mais propensa a ocorrências de fenômenos corrosivos. Comumente dutos são feitos de aço carbono, um material de valor relativamente barato e com uma série de propriedades que atendem a diversas aplicações, refletindo o seu emprego em diversas áreas. Em contra partida, o aço carbono apresenta baixa resistência à corrosão, devido a este motivo sempre está associado a revestimentos e sistemas de proteção catódica.

O fenômeno da corrosão é uma falha que implica nas mais variadas atividades um impacto severo na confiabilidade, na manutenção e no custo de estruturas metálicas e sistemas de escoamento por dutos (KAPPS, 2012).

A importância de se evitar a corrosão define-se em dois aspectos principais, o primeiro é o econômico e o segundo aspecto está relacionado com a preservação de reservas minerais evitando-se a degradação do metal a sua reposição é desnecessária (DUTRA, 1987).

Diante do exposto, estudos literários, artigos e dissertações, o fenômeno da corrosão em tubos de aço em meios ácidos, com e sem proteção catódica será compreendido, e o conhecimento para evitá-lo através de técnicas de revestimento e proteção catódica.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Porque evitar a corrosão**

Segundo Davis (2000), estudos concluíram que o setor automobilístico, foi o que mais se empenhou contra os efeitos da corrosão. Grandes avanços foram realizados na utilização de aços inoxidáveis, metais revestidos e acabamentos mais eficientes. Várias substituições de materiais feitos principalmente por razões de redução de peso também reduziram os efeitos da corrosão. As análises estimam que 15% dos custos de corrosão anteriormente inevitáveis podem ser revistos como evitáveis. Adicionalmente, estima-se ter eliminado 35% da corrosão pela melhoria das práticas. Ao examinar os setores da indústria aérea, de oleodutos e de construção naval, as análises indicaram que, em muitos casos, o uso de materiais mais caros reduz a necessidade de reparos relacionados à corrosão ou repintura. Em geral, pensou-se que para a economia americana outras aplicações em veículos motorizados e aero naves, os custos totais da corrosão teriam sido reduzido em 5%, porem a redução do custos foram inevitáveis 2%. Análises atuais mostram que em 1995 o custo total de corrosão metálica

foi reduzida por alguns em 14%, ou 4,2% do PIB. Corrosão evitável, era 40% do total, está agora estimada em 35%, mas ainda responde por pouco mais de US\$100 bilhões por ano. Este valor representa o custo anual para a economia, que pode ser reduzido aumentando e difundindo as aplicações de materiais resistentes a corrosão, melhorando as práticas de prevenção da corrosão, e investindo em investigações relacionadas com a corrosão.

A partir de 1949, os EUA estudam o transtorno da corrosão do ponto de vista econômico. No entanto, somente com o início do movimento ecológico, nos anos 1970, que isso passou a ser uma precaução mundial. Assim sendo, o número de estudos aumentou, desde então, difundindo-se por países como Japão e Reino Unido. Em 2001, a CC Technologies Laboratories, a Nace International, conhecida como a Sociedade da Corrosão, e o Federal Highway (FHWA), que administra as rodovias norte-americanas, elaboraram estudos mais detalhados sobre a influência da corrosão na economia dos EUA. A conclusão só confirmou a suposição de que a corrosão é uma das maiores dificuldades enfrentadas pela indústria. Só neste país os custos relacionados à corrosão consumiam, há dez anos, cerca de 3% do PIB, algo em torno de US\$ 400 bilhões, em valores atuais. Globalmente, os estudos em diferentes países têm chegado a resultados semelhantes, custos variáveis entre 1 % e 5% do PIB. No Brasil, os gastos podem chegar a cerca de US\$ 10 bilhões, grande parte na indústria petrolífera. Nas grandes estruturas navais utilizadas pelas companhias de petróleo, a corrosão é uma das principais responsáveis pelos desastres ambientais que são os derramamentos de óleo no mar. Quando não são ocasionados por falha humana, esses desastres inevitavelmente são obra de estruturas comprometidas pela corrosão.

Por causa disso é uma das maiores preocupações das companhias de petróleo. Além do fator ambiental, elas podem ter grandes prejuízos financeiros causados pela corrosão (DIÁRIO DO COMÉRCIO, 2008).

Visto as perdas financeiras e prejuízos ao meio ambiente temos em mente o quanto é importante o combate à corrosão e que é preciso compreender como ela se origina.

## **2.2 Corrosão**

Para compreender o fenômeno da corrosão, é necessário entender como ela ocorre, em diversas literaturas é definida como sendo a deterioração de um material metálico, seja por processo químico ou eletroquímico no meio ambiente. Assim, o “fenômeno da corrosão acontece com todos os metais de

liga, diferenciando apenas o grau, mas não em natureza” (RAMANATHAN, 1988, p. 17).

Segundo Cecchini (1990) corrosão é a ação química que o meio ambiente exerce sobre o material, tornando-o imprestável para vários usos, como por exemplo, na construção civil, na mecânica, nos meios de transporte, nos processos industriais, etc.

A corrosão pode ser classificada em dois grupos, aquosa e seca. Neste caso com interesse de estudo em meio aquoso, “a corrosão aquosa com certeza é de natureza eletroquímica o que significa que existe corrente elétrica de uma área para outra em determinada estrutura metálica percorrendo em solução eletrólito conduzindo eletricidade” (RAMANATHAN, 1988, p. 17).

O fenômeno eletroquímico pode ser observado nas reações ocorridas no metal:

As reações de corrosão envolvem basicamente ânodos, cátodos e eletrólitos. O ânodo e o cátodo podem consistir de dois metais diferentes, ou áreas diferentes do mesmo metal. Durante a corrosão, há essencialmente dois tipos de reações ocorrendo: a reação anódica, que ocorre no ânodo, e a reação catódica, que ocorre no cátodo. A reação anódica consiste em o átomo metálico deixar o metal para formar íons do metal no eletrólito. (RAMANATHAN, 1988, p. 18)

Este fato é chamado de reação de dissolução onde, os átomos se movimentam para outra parte na superfície do metal migrando para outro.

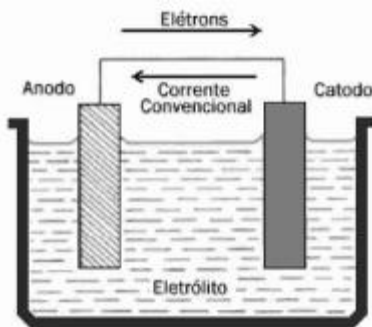
Quando ocorre a corrosão aquosa, há a formação de íons metálicos e liberação de elétrons na região do ânodo, onde se dá a oxidação, ou corrosão, ou deterioração do metal e simultaneamente, na região do cátodo, há o consumo de todos os elétrons (que foram produzidos na região anódica) e redução dos íons do eletrólito, isto é, a neutralização dos íons hidrogênio ou formação de íons carregados negativamente. Portanto a corrosão ocorre apenas no ânodo (RAMANATHAN, 1988, p. 19).

Vale lembrar que “a reação de corrosão nem sempre necessita ser a dissolução do metal, pode também ser a formação de óxido ou hidróxido, qual destas duas reações de corrosão ocorrerá, depende do metal e PH da solução aquosa” (RAMANATHAN, 1988, p. 19).

A aparição de pilha de corrosão é a consequência da diferença de potenciais de eletrodos em dois pontos na superfície do metal em contato com o eletrólito, denominando de pilha ou célula eletroquímica (DUTRA,

1987). A figura 1 apresenta um diagrama de uma pilha de corrosão eletroquímica.

Figura 1- Diagrama de uma pilha de corrosão eletroquímica.



Fonte: Kapps (2012 p.26).

Segundo Dutra (1987), a corrosão de natureza eletroquímica são denominadas conforme as condições em que se transformam condição natural do meio corrosivo, com tipos de metais e até mesmo com a aparência da corrosão.

O processo corrosivo pode ocorrer de variadas formas, neste trabalho será feita uma abordagem dos principais tipos de corrosão, baseado nos autores Dutra (1987), Gentil (2007), Cecchine (1990), apresentado no quadro 1 que demonstra os principais tipos de corrosão.

Quadro 1- Principais tipos de Corrosão.

Principais Tipos	Características
Corrosão Galvânica	Dois materiais metálicos e com diferentes potenciais em contato com eletrólito resultam em uma diferença de potencial ocorrendo transferência de elétrons havendo então corrosão. Neste tipo de corrosão a intensidade será maior, quando os materiais na tabela de potenciais eletroquímico estiverem mais distantes, considerando o eletrólito. As áreas anódicas e catódicas terão grande influência dependendo da relação, esta relação deverá ser a maior possível a fim de que o desgaste do material seja menor e mais uniforme na área anódica.
Corrosão por Frestas ou Crévice	Os metais sofrem corrosão devido a aeração diferencial e por concentração diferencial. Originam-se nas frestas de juntas de chapas soldadas, arrebentadas e parafusadas em flanges e ligações roscadas entre outros.

Corrosão Atmosférica	Relacionado a processos de estruturas aéreas, o grau de intensidade está ligado com a umidade relativa do ar mais os teores de sais e do teor de gases poluentes na atmosfera em especial o gás de enxofre. A corrosividade é influenciada por outros fatores como chuva, partículas sólidas em suspensão e ventos.
----------------------	---

Principais Tipos	Características
Corrosão pelo Solo	Característico em estruturas subterrâneas, como tubulações, estacas metálicas, cabos de transmissão de energia e de telecomunicações, tanques enterrados, e outros. O nível de corrosão resulta do teor de umidade, do tipo da composição química e do pH do solo. Um solo de baixa resistividade é mais agressivo, possui umidade permanente e sais minerais dissolvidos, enquanto que um solo de resistividade elevada é menos agressivo, possui menos umidade e sais minerais dissolvidos. Outros fatores podem influenciar: a permeabilidade do solo, presença de bactérias e poluentes.
Corrosão pela Água	Notado em estruturas em contato com meios aquosos, como estacas de pír, tubulações submersas, embarcações, instalações de água de refrigeração, instalações de geração de vapor e instalações de tratamento e distribuição de água. Nas estruturas submersas em água doce as taxas de corrosão dependem da quantidade de sais, ácidos ou bases dissolvidos. As estruturas submersas em água salgada estão sujeitas a amplas taxas de corrosão, que poderão ainda ser aumentadas pela presença de poluentes.
Corrosão Eletrolítica	São ações corrosivas de natureza eletroquímica, causados em estruturas metálicas enterradas ou submersas, visto como consequência de um fluxo indesejável de corrente contínua dissipada no eletrólito. As disposições mais sujeitas a este tipo de ataque são os oleodutos, adutoras, cabos elétricos e cabos de comunicações enterrados.

Fonte: DUTRA (1987).

### 2.3 Formas de corrosão

As formas segundo as quais a corrosão consegue tornar-se visível são decididas, sobretudo pelo aspecto da face corroída, descrito nos autores Dutra (1987) o quadro 2 apresenta as principais formas que isto acontece, bem como o aspecto da face corroída.

Quadro 2- Aspectos da Face Corroída.

Formas	Aspecto da Face Corroída
Corrosão Uniforme	A degradação do metal se confere de modo quase constante em toda a face agredida, é comum em metais que não desenvolvem camadas protetoras

	como decorrência da agressão.
Corrosão por Placas	Desenvolvem-se em placas que se soltam gradativamente, comum em metais que formam película inicialmente protetora mas que, ao se tornarem densas, quebram e perdem aderência, revelando o metal a novo ataque.
Corrosão Alveolar	Desgaste sob efeito localizado com a aparência de crateras, utilizado em metais formadores de películas semi-protetora ou quando se tem corrosão sob depósito, como no caso da corrosão por aeração diferencial.
Corrosão por Pite	Comum em metais geradores de camadas protetoras, comumente passivas, que, sob a ação de certos agentes agressivos, são eliminadas em pontos situados, os quais tornam-se ativos, acarretando uma degradação muito forte.

Fonte: DUTRA (1987).

Gentil (2007), afirma que a corrosão intergranular e transgranular não são visíveis a olho nu, são observados com o auxílio do microscópio examinando-se a face do material. A corrosão intergranular é observada o processo entre os contornos dos grãos e a transgranular com o surgimento sob formato de rachaduras com ação nos grãos da rede cristalina do material, ambos quando solicitados a esforços mecânicos acarretando fratura do material, tendo-se corrosão sob tensão fraturante (CTF).

A corrosão cresce de forma porcentual conforme a degeneração analisada na superfície metálica. A estimativa adequada das porcentagens degradativas do metal é, de maneira genérica, de ampla relevância para a limitação da vida útil admissível de equipamentos e disposições industriais. As estimativas percentuais de corrosão podem ser expressos por meio da diminuição de espessura do material por unidade de tempo, em mm/ano ou em perda de massa por unidade de área, por unidade de tempo, por exemplo mg/dm<sup>2</sup>/dia (mdd) (DUTRA 1987).

## 2.4 Principais tipos de defesa contra corrosão

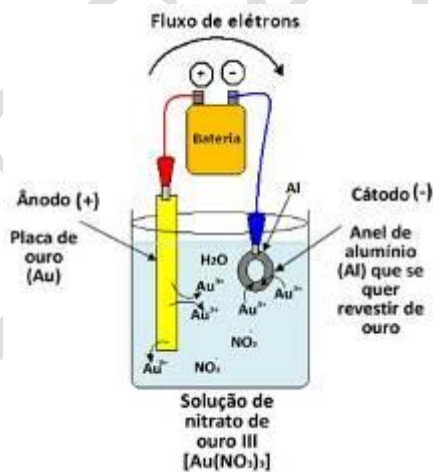
Visando formas de defesa contra a corrosão “a ação protetiva contra a corrosão dos metais ferrosos emprega-se técnicas simples de revestimento na peça como tintas, esmaltes, óxidos e outros metais” (FOGAÇA, 2015).

No cotidiano, a técnica do revestimento comumente utilizado é o revestimento com o zarcão para peças metálicas, como portões, grades, janelas, entre outros. Como uma tinta, o zarcão é um revestimento constituído de uma suspensão oleosa de tetróxido de chumbo (Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), com ótima adesão ao metal por ser um óxido insolúvel. Seu desempenho é de prevenir o contato do ferro com o oxigênio do ar. A película protetora que recobre o metal, sofrer algum tipo de dano como riscos ou mesmo sofrer

desgaste com o passar do tempo, o mesmo sofrerá oxidação, exigindo manutenção periódica. Desejando-se maior eficácia, o revestimento pode ser feito com a aplicação de polímeros, um exemplo popular são as folhas de flandres utilizadas para embalagens de conserva de alimentos, compostas de uma lâmina de aço e recobertas de estanho e polímero no seu interior. Outro método de revestimento é a galvanoplastia ou eletrodeposição metálica, processo em que se recobre a superfície de um material metálico utilizando outro metal mais nobre, sendo menos reativo e menos propenso à corrosão (FOGAÇA, 2015).

A Figura 2 apresenta um esquema de uma douração, ou galvanoplastia em que se cobre um objeto metálico com ouro, o ânodo de ouro sofre oxidação, compondo os íons  $Au^{3+}$  que migram para o cátodo, cobrindo a peça metálica.

Figura 2- Galvanoplastia ou eletrodeposição de ouro sobre um anel de alumínio.



Fonte: Mundo Educação ( 2015).

Ao cobrir uma peça de ferro ou de aço com zinco, institui um processo chamado de galvanização. Os materiais obtidos nesses processos são chamados de ferro galvanizado e aço galvanizado. Um metal muito utilizado é o aço inoxidável consiste em uma liga metálica especial fabricada com 74% de aço, 18% de cromo e 8% de níquel, possui como propriedade principal o fato de não enferrujar. Metais como o cromo e o níquel desenvolvem óxidos insolúveis que resguardam o aço do oxigênio e da umidade atmosférica. Utilizados na produção de utensílios domésticos, como

talheres e painéis, e insumos para indústria, construção civil, peças automotivas etc. Contudo, é um material caro, e sua aplicação também é limitada (FOGAÇA, 2015).

## 2.5 Proteção catódica

Diversas técnicas contra a corrosão destacando-se das demais é a técnica da proteção catódica, no qual elimina por completo o processo de corrosão, fazendo com que o material metálico se torne imune ao ataque por tempo indeterminado. Método este muito difundido no Brasil e de sucesso mundial no combate a corrosão de estruturas metálicas subterrâneas e submersas em contato com eletrólitos.

A função da proteção catódica é eliminar, por processo artificial as áreas anódicas em sua superfície modificando sua estrutura fazendo que ela adquira um comportamento catódico. Alterando o seu comportamento, o fluxo de corrente elétrica deixa de existir e a corrosão é eliminada (GENTIL, 2007).

No processo de proteção catódica existem dois tipos de proteção as duas com o mesmo princípio fundamentado, injeção de corrente elétrica na estrutura, através do eletrólito (DUTRA, 1987).

Esta técnica permite uma excelente imunidade a superfícies metálicas, porém é importante destacar que a proteção catódica associada a superfícies revestidas ela passa a ser muito mais vantajosa.

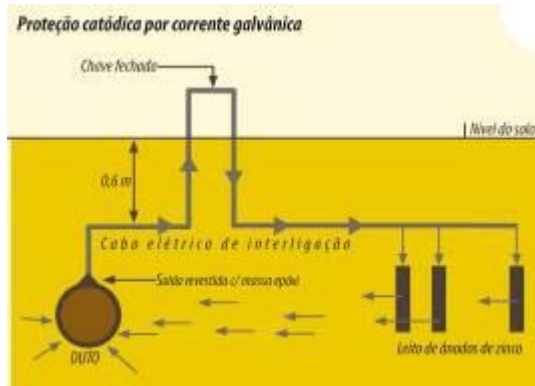
Seguindo os critérios adequados de aplicação irá garantir o potencial de proteção, visto que os mecanismos de proteção estão relacionados como potencial do metal que é reduzido (zona de imunidade) e através do eletrólito adjacente a superfície metálica que impede a reação na superfície do metal.

### 2.5.1 Proteção catódica galvânica

Na proteção catódica galvânica, a corrente elétrica é provida por uma força eletromotriz que há entre o metal a proteger (ânodo) e o metal a ser protegido (cátodo), como resultado das diferenças de potenciais eletroquímicas.

A figura 3 mostra de forma esquemática este tipo de proteção (DUTRA, 1987).

Figura 3- Proteção catódica por corrente galvânica.



Fonte: Dutra (1999).

Os materiais aplicados como anodos são ligas de Zn, de Mg e de Al, estes materiais estão entre os que apresentam maior diferença de potencial comparados a materiais comumente usados em estruturas a serem protegidas, como aço, e por apresentarem baixíssima características de polarização anódica.

Por serem muito pequenas as diferenças de potenciais galvânicos (em geral 1,2V, dependendo do par considerado) para se ter uma injeção de corrente capaz de proteger a estrutura faz se necessário que toda resistência do circuito seja baixa, esse fato resulta a proteção galvânica eficaz em eletrólitos de baixa resistividade elétrica, como a água do mar e solos de até 6.000 ohm.cm, para anodos de magnésio e zinco torna se mais baixos não excedendo 1500ohm.cm.

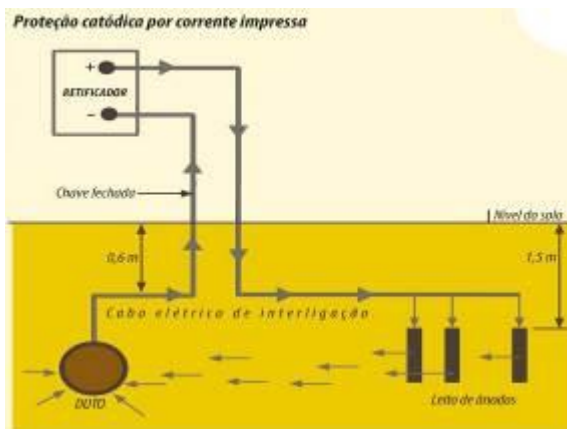
Indicado para estruturas de pequeno porte. Em estruturas de grande porte, a massa de anodo requerida pode ser muito grande. A desvantagem é a reposição dos anodos após o consumo. Apresentam limitações por não serem adequados para estruturas sujeitas a correntes fortes de interferência, e não poder regular a corrente injetada. Sua vantagem é de ser menos sujeita a interrupções em seu funcionamento (DUTRA, 1987).

### 2.5.2 Proteção catódica por corrente impressa

No sistema de proteção catódica por corrente impressa a corrente elétrica é provida por força eletromotriz (f.e.m) esta fonte de corrente

continua pode ser (retificador, bateria ou gerador), utilizando se de um conjunto dispersor de corrente no eletrólito, constituídos de anodos inertes, chamado de leito de anodos. A figura 4 mostra o esquema de proteção por corrente impressa (DUTRA, 1987).

Figura 4- Proteção Catódica por corrente impressa



Fonte: Dutra (1999).

A vantagem deste sistema está no fato de que a fonte de energia poderá ter a potência desejada, assim como a (f.e.m.) necessitada, em função das condições de resistividade do eletrólito. A proteção catódica por corrente impressa aplica-se a estruturas situadas em eletrólitos de baixa, média alta e altíssima resistividade, indicada para estruturas de médio e grande porte, por ser um sistema compacto e mais econômico, principalmente quando há necessidade de correntes altas para proteção. São apropriados para estruturas sujeitas a correntes de interferência além de permitir através de retificadores, uma gama de regulagens. A corrente alternada é utilizada para alimentação dos retificadores quando possíveis a sua utilização, que convertem a corrente alternada para corrente contínua que é a corrente utilizada no processo da proteção catódica por corrente impressa. Outras fontes podem ser utilizadas, baterias solares, baterias convencionais cata-ventos e geradores. Sua desvantagem é que necessitam de manutenção nos retificadores podendo ocorrer interrupções em seu funcionamento, entretanto as demais partes são projetadas para longos períodos de duração. O leito de anodos de um modo geral constitui-se de anodos inertes instalados em uma configuração

apropriada ao sistema (DUTRA, 1987). Os materiais mais comuns para anodos inertes são apresentados no quadro 3.

Quadro 3- Materiais para anodos inertes e seu uso.

<b>Material do anodo</b>	<b>Para uso em</b>
Grafite	Solos, água doce e água do mar
Ferro-Silício	Solo e água doce
Ferro-Silício-Cromo	Solos, água doce e água do mar
Chumbo-Antimônio-Prata	Água do mar
Titânio Paltinizado	Água do mar
Nióbio Platinizado	Água do mar
Magnetita	Água do mar, água doce e solos

Fonte: DUTRA, (1987)

É importante frisar que no uso da proteção catódica por corrente impressa o polo negativo da fonte de corrente deve estar ligado na estrutura a proteger e o polo positivo ao leito de anodo, observando que estas polaridades não devem ser invertidas sob o risco de corrosão super acelerada na estrutura (DUTRA, 1987).

## 2.6 Influência dos revestimentos protetores

Por definição segundo o autor Dutra (1987), revestimento protetor é uma barreira entre um metal e o meio corrosivo. No processo de proteção catódica o uso associado com revestimentos protetores reduz a corrosão na superfície exposta, diminuindo a intensidade da corrente necessária a proteção da estrutura. Há relevância na aplicação do revestimento em tubulações enterradas sendo também utilizados em outros tipos de estruturas. Em estruturas submersas, dependendo das suas características poderá ser usado ou não. As tubulações submarinas e os cascos dos navios são exemplos em que o revestimento é utilizado. Apresentando graus de eficiência variados durante a sua vida útil, e para efeito de cálculo de proteção catódica, a tabela 1 apresenta uma relação entre a eficiência do revestimento e a vida útil.

Tabela 1- Eficiência do revestimento e sua vida útil.

<b>Estruturas</b>	<b>Tipo de revestimento</b>	<b>Camada</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Eficiência inicial</b>	<b>Eficiência final</b>
Tubulações enterradas ou subterrâneas	com esmalte de piche de carvão	simples		20	95%	90%
	com camada de concreto	duplo	Tubulações submarinas		98%	94%
	com asfalto	simples			90%	60%
		duplo	Não recomendado para tubulação submersa		95%	70%
Tubulações	com tintas epóxi ou betuminosas		Revestimento interno para tubulações	15	80%	70%
	com argamassa de cimento				80%	75%
Fundo de tanque	Base com revestimento betuminoso		Revestimento externo para fundo de tanque	20	60%	50%
Tanque de armazenamento	com sistemas epóxi, betuminoso ou borracha clorada		Revestimento interno para tanque, fundo ou todo o tanque	10	95%	90%
Embarcações	com sistemas epóxi, borracha clorada ou betuminoso.		Cascos das embarcações	4	95%	60%

Fonte: DUTRA, (1987).

É importante que se considere na seleção que o revestimento a ser empregado, em conjunto com a proteção catódica, tenha uma boa resistência às alcalinidades que surgirão no cátodo, assim como sobre a voltagem resultante do processo.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o desenvolvimento deste artigo foi a coleta de dados através de pesquisa bibliográfica obtido por meio eletrônico. As pesquisas foram voltadas para química básica, eletroquímica, fenômenos de corrosão, comportamento mecânico de materiais metálicos, tipos de revestimentos, formas de proteção contra corrosão, entre outros.

Serão evidenciadas as informações obtidas nas pesquisas que foram publicadas por autores no período de 2001 a 2013.

A fim de atender o objetivo principal deste artigo bem como os objetivos específicos, os resultados foram estruturados e apresentados na discussão em forma de tópicos, sendo eles:

- Uso de aços em dutos para Indústria de Petróleo.
- Pintura em ambientes imersos de usinas hidrelétricas utilizando tintas livres de alcatrão de hulha.
- O ensino de corrosão e de técnicas anticorrosivas compatíveis com o meio ambiente.
- Experimentos de baixo custo em corrosão e proteção de dutos de aço em meios ácidos

### 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas as análises dos artigos. A discussão dos artigos selecionados se encontra nas seguintes subseções, conforme as palavras chaves pesquisadas: Duto de aço, Revestimento, Corrosão e Proteção catódica.

#### 4.1 Uso de aço em dutos para indústria de petróleo

De acordo com Oliveira et al. (2013), as limitações do aço carbono como baixa resistência à corrosão e sua grande utilização nas indústrias, principalmente a indústria do petróleo que no transporte é de fundamental importância levou ao conceito da utilização de novos materiais para serem utilizados no revestimento de dutos e o uso crescente do aço inoxidável devido sua resistência mecânica a corrosão.

Tubulações de aço-carbono, para produção e transporte de produtos químicos, proporcionam restrições na sua utilização, destacando-se a sua baixa resistência à corrosão, sob ação de calor, que causa desgaste e falha na

sua operação. Esta corrosão pode ser interna, devido à química do líquido ou gás conduzido, ou externa, devido ao atmosfera em que a tubulação se encontra (Touça, 2003).

Para uma possível solução para esse problema a fabricação de dutos de aço de baixo grau reforçados com camada de material compósito. Ou seja reforçá-los com camadas de materiais de resinas poliméricas e partículas de cerâmica, permitindo que aços menos resistentes apresentem maior resistência a fratura, possibilitando a produção de dutos com elevada resistência mecânica e demais vantagens relacionados com o comportamento próprio de dutos de aço.

A indústria de óleo e gás enfrenta ambientes extremamente agressivos, exigindo materiais com elevada resistência à corrosão e tenacidade, propriedade presente em variados tipos de aço inoxidável. Tubos de revestimento estão condicionados a severidades associadas à concentração de  $CO_2$  tolerando a utilização dos aços inoxidáveis supermatensítico e superduplex por se tratarem de materiais mais adequados no momento.

As conclusões do autor deste artigo foram que ao desenvolver este trabalho pode observar as aplicações dos aços na fabricação dos dutos, sendo analisados os materiais que compõem as propriedades que devem ser levadas em conta na seleção do material e sua importância em sua utilização, não existe um material que seja ideal para este propósito e sim qual o melhor material deverá ser utilizado para aplicação em questão.

#### **4.2 Pintura em ambientes imersos de usinas hidrelétricas utilizando tintas livres de alcatrão de hulha**

Segundo Malinowski *et al.* (2013), a proteção do aço contra os meios corrosivos, sejam estes químicos ou de ambientes imersivos em água doce e salgada. A preocupação com o meio ambiente e com a saúde do trabalhador (homen) foi o fator de motivação para comparar duas tecnologias em tintas recomendadas para pinturas em ambientes em que no material fique imerso.

Foram comparadas as tecnologias em tintas coalta epóxi com uma tecnologia em tinta livre de alcatrão e com baixo teor de compostos orgânicos voláteis. Realizaram-se ensaios em corpos de prova preparados de acordo com Normas da ABNT NBR 10546:1988 (preparação de corpos de prova para ensaios de tintas), Norma ISO 8501:1988 (jateamento abrasivo ao padrão Sa 2½), NBR 13006:1993 que determina o processo de pintura para corpos de prova a serem submetidos a ensaios laboratoriais ou de campo. O ensaio foi realizado de acordo com a Norma NBR 8094:1983 que consiste na

inserção de corpos de prova em uma câmara de névoa salina (salt spray) Em seguida ensaios realizados segundo a Norma ASTM D 3363 que consiste em um método rápido e de baixo custo para a determinação da dureza de filmes de tintas orgânicas. Com a finalidade de determinar a tendência corrosiva das tintas realizou-se um estudo com a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica em corpos de prova que ficaram em câmaras de névoa salina e de umidade. Os principais resultados do estudo apontam que a tinta com tecnologia livre de alcatrão de hulha tem maior aderência e mantém as propriedades como brilho em relação ao epóxi alcatrão de hulha (coaltar epóxi).

Como resultado da aplicação da técnica de impedância eletroquímica, a tinta com tecnologia livre de alcatrão apresentou resultados similares ao coaltar epóxi. Foram preparados corpos de prova em triplicata de acordo com Normas ABNT e Normas ASTM para ensaios de intemperismo, imersão, tração e dureza.

Foram realizadas medidas de impedância eletroquímica nos corpos de prova expostos em câmaras de névoa salina e de umidade em intervalos de tempo planejados. Como principal conclusão deste trabalho destacam-se as propriedades similares de resistência da tinta Adepoxi HTS, quando comparada com a tinta de tecnologia base alcatrão de hulha Adepoxi Coaltar 41, ambas do fabricante Advance Tintas Industriais. Foi elaborado um resumo dos principais resultados, apresentado no Quadro 4.

Quanto aos ensaios de impedância eletroquímica realizados, pode-se concluir que a tinta Adepoxi HTS pode substituir a tinta com tecnologia alcatrão de hulha com igual teor de proteção anticorrosiva.

Os dois produtos estudados demonstraram ser similares do ponto de vista de tendência corrosiva. Destaca-se que a tinta Adepoxi HTS pode ter uma espessura final seca pós-aplicação de 1000 $\mu$ m por demão, enquanto que a tinta com tecnologia base alcatrão não passa da espessura seca de 200 $\mu$ m por demão.

Quadro 4: Resumo sobre ensaios normatizados.

Tipo de ensaio e produto	Norma aplicável	Resultados	
		Adepxi HTS	Adepxi Coaltar 41
Resistência à nevoa salina	ABNT NBR 8094:1983	Nenhuma alteração de cor ou presença de corrosão ao longo da incisão.	Corrosão parcial ao longo da incisão.
Resistência a 100% UR	ASTM D 2247	Nenhuma alteração de brilho, cor ou presença de defeitos.	Nenhuma alteração de brilho, cor ou presença de defeitos.
Resistência à imersão em água destilada	ASTM D 870	Nenhuma alteração de brilho, cor ou presença de defeitos.	Leve alteração na cor.
Resistência à imersão em água salgada	ASTM D 1308	Nenhuma alteração de brilho, cor ou presença de defeitos.	Nenhuma alteração de brilho, cor ou presença de defeitos.
Resistência à imersão em H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ASTM D 1308	Nenhuma alteração de brilho, cor ou presença de defeitos.	Nenhuma alteração de brilho, cor ou presença de defeitos.
Aderência à tração MPa	ABNT NBR 15877:2010	Superior a 23 MPa.	Superior a 20 MPa.
Dureza a lápis	ASTM D 3363	6H	6H

Fonte: MALINOWSKI (2013).

### 4.3 O ensino de corrosão e de técnicas anticorrosivas compatíveis com o meio ambiente

Segundo Mainier; Leta et al. (2001), descrevem um estudo de caso referente à implantação de técnicas anticorrosivas compatíveis com o meio ambiente. Este estudo consiste na tentativa de associar e integrar o conhecimento da corrosão e das técnicas anticorrosivas, no sentido de desenvolver uma abordagem técnico-científica que venha contemplar as idéias geradas e as experiências adquiridas no ensino e na pesquisa destas técnicas. Os experimentos apresentados a seguir visam:

- Facilitar e ampliar a compreensão do processo de corrosão e das técnicas de proteção catódica;
- Despertar no aluno a necessidade do desenvolvimento e do esclarecimento de mecanismos físicoquímicos, envolvidos em cada processo;

- Estimular a busca incessante da inovação tecnológica, através de projetos especiais, e, se necessário romper os rumos dos experimentos tradicionais;
- Formar a consciência técnico-crítica-ambiental.

#### 4.4 Descrição do experimento: proteção catódica por anodos galvânicos

Duas chapas de aço-carbono (20 cm x 20 cm) são fixadas em uma caixa de polipropileno com capacidade de 250 L, contendo água do mar, conforme mostra a Figura 6. A cada chapa é conectado um anodo galvânico (zinco ou alumínio). Um agitador e um borbulhador de ar são adicionados ao sistema, visando a criar a oxigenação no meio corrosivo.

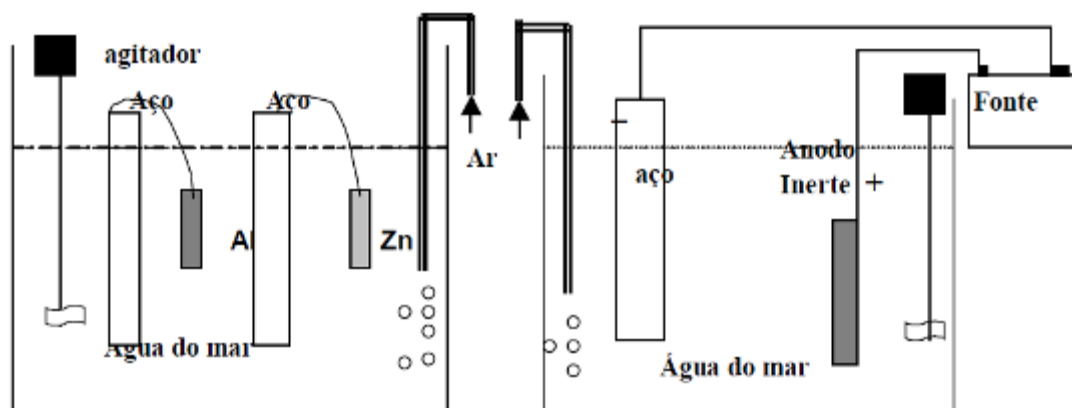
As medidas de potencial devem ser feitas duas vezes por dia, para avaliar a proteção catódica.

#### 4.5 Descrição do experimento: proteção catódica por corrente impressa

Três chapas de aço-carbono (20 cm x 20 cm) são fixadas numa caixa de polietileno, com capacidade para 25 L de água do mar.

As chapas são conectadas ao pólo negativo do retificador de corrente, enquanto o anodo é fixado ao pólo positivo (Figura 5).

Figura 5 - Experimento de proteção Catódica e Galvanica.



Fonte: MAINIER, (2001)

Com base no exposto pode-se concluir que a proteção catódica pode ser considerada uma técnica de preservação ambiental com sucesso quando

utilizada na proteção externa de oleodutos, gasodutos, adutoras e tanques subterrâneos ou apoiados no solo.

#### **4.6 Experimentos de baixo custo em corrosão e proteção de dutos de aço em meios ácidos**

Segundo Kapps *et al.* (2012), por meio de análise experimental de baixo investimento, avaliou-se os mecanismos de corrosão que agem em meios ácidos, além de evidenciar os limites de eficácia de revestimentos orgânicos em epóxi e proteção catódica por anodos de sacrifício de magnésio.

O trabalho também registra a preparação necessária para a realização de experimentos eletroquímicos em ambiente laboratorial. A proposta do trabalho experimental em corrosão de aço carbono em meios corrosivos ácidos foi desenvolvida no Centro de Engenharia e Computação da Universidade Católica de Petrópolis.

Por esse motivo, tal abordagem do problema de corrosão em dutos foi eleita por este grupo de pesquisa, iniciando-a mediante a construção progressiva de pequenos ensaios de baixo custo através dos quais ganha-se conhecimento e competência para a lida com processos mais complexos.

Quando cada amostra (material metálico) foi imersa em solução diluída de HCl, ocorreu um processo químico de oxirredução associado à transferência de elétrons. Quando cada amostra foi imersa em solução diluída de HCl sem proteção contra a corrosão, a mesma sofreu um ataque do meio corrosivo.

Kapps *et al.* (2012), conclui que a literatura técnica fomentou suficientemente a compreensão dos mecanismos de corrosão encontrados nos ensaios de corrosão, explicando suas formas, velocidade e intensidade.

Constatou-se que revestimentos orgânicos e anodos de sacrifício reduzem de forma significativa a perda de material por corrosão, embora os primeiros estejam também sujeitos a processos agressivos e difusionais em meios ácidos, que se manifestam, por exemplo, no empolamento e na desagregação dos filmes de revestimento.

Além das observações qualitativas e quantitativas em corrosão que reforçam enormemente o entendimento dos fenômenos, coletaram-se lições aprendidas a partir das dificuldades experimentais e mesmo de alguns insucessos e foram geradas, quando foi possível, soluções de baixo custo para contornar problemas de laboratório.

## 5 CONCLUSÃO

Através de livros consultados e artigos e dissertações vistos concluiu-se que estas técnicas são possíveis a compressão plena de como deve se evitar o fenômeno da corrosão.

Foi observada a influência dos revestimentos na proteção contra corrosão concluindo-se que é um método eficaz e simples. Em conjunto com a proteção catódica se elimina por completo os efeitos da corrosão. Foi observado também que experimentos como *salt spray* - teste padronizado popular e relativamente barato usado na resistência à corrosão-, pode ser utilizado na falta dos equipamentos para o entendimento das técnicas contra corrosão. Como sugestões para pesquisas futuras recomenda-se experimentos de baixo custo fundados nas normas internacionais e nacionais com materiais comuns de uso na indústria (exemplo: parafusos) e com materiais utilizados em eletrodomésticos.

# ANALYSIS OF CORROSION ON CARBON STEEL PIPES AND GALVANIZED STEEL MEANS ACIDS WITH AND WITHOUT CATHODIC PROTECTION

## Abstract

The awareness of the importance to be given to the corrosion protection has increased significantly between the technical means of our parents. We should not consider corrosion as an accomplished fact, today we have the knowledge of most of the phenomena that lead, allowing to avoid them. In an industrial design the building materials, the design, the cooling water inhibitors, suitable coating systems and cathodic protection is necessary, allow the reduction of maintenance and degradation of structures and machines thus avoiding unexpected stops for parts replacement or corroded equipment in addition to the preservation of energy and the environment. The objective will be based on articles a greater understanding of the techniques against corrosion. The methodology applied for the development of this product was the collection of data through literature obtained electronically presenting researched information and published by other authors having as conclusion the importance of coatings and application of cathodic protection and understanding of the techniques against corrosion are complex and can be realized low cost experiments for its understanding.

**Key-words:** Steel duct. Coating. Corrosion. Cathodic protection.

## REFERÊNCIAS

CECCHINE, M. A. G. **Proteção Contra Corrosão**. São Paulo: SENAI, 1990. 76 p.

DAVIS, J. R. **Corrosion understanding the basics**. Ohio: ASM INTERNACIONAL, 2000. 517 p.

DIÁRIO DO COMÉRCIO. <http://www.diariodocomercio.com.br/>. **Diário do Comércio**, 2008. Disponível em: <[http://www.diariodocomercio.com.br/noticia.php?tit=os\\_danos\\_da\\_corrosao\\_na\\_economia\\_&id=101214](http://www.diariodocomercio.com.br/noticia.php?tit=os_danos_da_corrosao_na_economia_&id=101214)>. Acesso em: 30 jun. 2016.

DUTRA, A. C.; NUNES, L. D. P. Proteção Catódica. In: DUTRA, A. C.; NUNES, L. D. P. **Proteção Catódica Técnica de Combate à Corrosão**. 1º ed. RIO DE JANEIRO: Editora Técnica Ltda, 1987. p. 202.

FOGAÇA, J. R. V. Proteção dos metais contra corrosão. **Mundo educação**, Goiânia, 2015. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/protecao-dos-metais-contracorrosao.htm>>. Acesso em: 6 dez. 2015.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5º ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, 2007. 360 p.

MAINIER, F. B.; LETA, F. R. O ensino de corrosão e de técnicas anticorrosivas compatíveis com o meio ambiente. **http://www.abenge.org.br**, Niterói, p. p.7, 8 ago. 2001. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2001/trabalhos/EMA002.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

MALINOWSKI, S. A. Pintura em ambientes imersos de usinas hidrelétricas utilizando tintas livres de alcatrão de hulha. **http://sistemas.lactec.org.br**, Curitiba, p. p.123, 28 ago. 2013. Disponível em: <<http://sistemas.lactec.org.br/mestrado/dissertacoes/SandroMalinowski.html>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

OLIVEIRA, D. S. et al. <http://www.saviesa.org.br>. **Instituto Saviesa**, Campina Grande, p. p.28, 5 set. 2013. Disponível em: