

FÁBIO LOURENÇO ALBERGUINI

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS

SÃO CARLOS

2021

FÁBIO LOURENÇO ALBERGUINI

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Civil do Centro Universitário Central Paulista, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Sineval Esteves Pereira Junior

SÃO CARLOS

2021

RESUMO

O presente trabalho aborda como uma revisão bibliográfica, sendo realizada por meio de uma análise crítica, tendo como fonte de pesquisa uma variedade literária pertinente à temática em estudo, tais como: consultas a sites relacionados ao tema, artigos científicos, publicações e periódicos, no intuito de buscar um referencial teórico e prático sobre patologia em estruturas metálicas. As manifestações patológicas são comuns na construção civil, causando transtorno e prejuízo financeiro aos proprietários. Nota-se que durante a pesquisa é possível observar que as manifestações patológicas ocorrem por vários fatores, podendo causar danos nas diversas áreas da edificação, gerando prejuízos financeiros, estruturais e à saúde dos residentes. Para cada tipo de anomalia deve-se ter um diagnóstico específico, sendo necessário um levantamento de informações sobre as possíveis causas e, assim, poder sanar o problema da melhor forma possível. Conclui-se neste trabalho que para diminuir as manifestações patológicas são necessários projetos com bom detalhamento e interação direta com a parte de fabricação, montagem e manutenção preventiva.

Palavras-chave: Manifestações patológicas, estruturas metálicas, oxidação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de fabricação de uma viga composta.....	5
Figura 2: Perfil (barra chata) sob efeito corrosivo.....	6
Figura 3: Reação de oxidação. Fonte: (BRAGA, 2017).....	7
Figura 4: Comparação entre perda de massa causada pela corrosão de um aço patinável e um aço convencional. Fonte: Pannoni (2014).....	12
Figura 5: Revestimento de proteção por barreira (Fonte: CARDOSO, 2013)	14
Figura 6: Esquema de revestimento de sacrifício. Fonte: Adaptado de Pannoni (2008)	16
Figura 7: Processos em uma linha de galvanização a fogo. Fonte: Pannoni (2008)	18
Figura 8: Esquema de funcionamento e aplicação de proteção catódica por corrente impressa. Fonte: Galvão (2008)	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diferenças entres as proteções catódicas por galvanização e corrente impressa.....20

Tabela 2: Diferenças entres as proteções catódicas por galvanização e corrente impressa.....22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	2
1.2 Objetivo	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Tipos De Manifestações Patológicas	6
2.1.1 Corrosão	6
2.1.2 Corrosão atmosférica dos aços	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	11
4.1 Procedimentos para prevenção, reparo e recuperação	11
4.1.1 Aços patináveis	11
4.1.2 Proteção com revestimentos orgânicos	13
4.2.3 Galvanização	16
4.1.4 Proteção catódica	18
4.1.5 Aços inoxidáveis	21
5 . CONCLUSÃO	23
6. REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

As edificações em aço vêm progressivamente ganhando espaço no mercado da construção brasileira. Embora as construções metálicas tenham evolução recente no país, com práticas construtivas ainda pouco difundidas e mão-de-obra especializada insuficiente para atender uma demanda maior, a estrutura metálica já é utilizada há séculos em países da Europa, América do Norte e Ásia. Atualmente, o mercado da construção civil é um dos maiores compradores das indústrias siderúrgicas, tornando – se assim uma alternativa competitiva com outros sistemas construtivos (RIZZO, 2013).

No Brasil, o concreto armado ainda é muito utilizado na maioria das construções devido ao seu aspecto construtivo ser amplamente divulgado e ter uma mão-de-obra mais especializada em relação às técnicas empregadas (CASTRO,1999), mas os elementos estruturais em aço podem ser uma solução interessante e adequada em determinadas situações de projeto. Diante disso, existe a necessidade de se fazer uma divulgação das características construtivas das estruturas metálicas, incluindo as vantagens e desvantagens.

Na construção em aço, a precisão dos projetos é fundamental para se usufruir das vantagens que o material oferece. As manifestações patológicas em edificações com elementos estruturais em aço podem estar relacionadas a vários fatores, que influenciam na origem de problemas estruturais, como por exemplo, incompatibilidade de materiais, cargas excessivas e fatores ambientais. Pode-se–definir patologia construtiva como a ciência que estuda os problemas construtivos que podem surgir após a etapa de construção de uma edificação (SANTOS, 2016).

Para Silva (2012), a patologia é definida como o estudo das causas e efeitos no desempenho insatisfatório do empreendimento, e o estudo tem interesse em corrigir defeitos de construção e principalmente prevenir defeitos futuros. A manifestação patológica pode ser vista como os sinais da deterioração dos materiais de um sistema estrutural da edificação, sendo que cada uma delas ocorre em tempos diferentes devido a cada material reagir de forma específica, levando em consideração suas solicitações e o ambiente em que está inserido. Tais manifestações muitas vezes

estão relacionadas a vícios ou defeitos construtivos, estes se revelam em erros de projeto, montagem e manutenção (SANTOS, 2016).

A maioria das manifestações patológicas em estruturas metálicas deve-se a erros de projeto, planejamento na produção dos materiais e, também, ao meio em que a construção está inserida, dentre elas pode-se citar a corrosão, fadiga e perda de estabilidade por imperfeições geométricas. As condições de uso, segurança e conforto é o mínimo de exigência que deve ser garantida para uma edificação, de maneira com que as pessoas consigam exercer suas atividades sem sofrer interferências do lugar onde o empreendimento foi desenvolvido (RIZZO, 2013).

Seja qual for a manifestação patológica que venha a ocorrer com a edificação, serão gerados muitos prejuízos de toda ordem de grandeza. Em outras palavras, é mais econômico garantir a qualidade da construção, do que baratear os insumos. Determinadas escolhas implicam em futuros gastos com recuperação da estrutura. Diante disso, o objetivo deste trabalho será apresentar as anomalias mais frequentes em elementos estruturais em aço, indicar as formas de prevenção e analisar as soluções adequadas para reforço e reabilitação (RIZZO, 2013; SANTOS, 2016).

1.1 Justificativa

As manifestações patológicas são anomalias que podem ocorrer ao longo da vida útil de uma estrutura metálica. Isso se deve à falta de um plano adequado de manutenção, deficiência no controle de qualidade das etapas do processo de construção, erros de projeto e planejamento da estrutura. Conseqüentemente, a falta de atenção dessas etapas, algumas vezes proporciona o aumento de custo devido às necessidades de intervenção para reparo, recuperação e reforço de sistemas estruturais. Diante disso, pretende-se expor a importância das medidas preventivas e corretivas e nas manifestações patológicas das construções para evitar danos futuros nas edificações, garantindo o sucesso da construção, visando durabilidade e desempenho estrutural.

1.2 Objetivo

Apresentar as manifestações patológicas mais frequentes em estruturas metálicas bem como as soluções mais adequadas, contribuindo para maior compreensão dos estudantes de engenharia e profissionais técnicos sobre o tema proposto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Nunes (2016), o processo de uma construção civil, tratando especificamente de edificações, pode ser sintetizado em três etapas, sendo elas o projeto, a construção e a utilização. Todas estas etapas estão sujeitas a imperfeições e eventualmente ocorrem alguns erros. Tais problemas podem comprometer ou ameaçar a saúde da estrutura, caracterizando uma manifestação patológica. Cada estrutura possui uma resistência intrínseca à ação relacionada em determinadas condições e características dos agentes agressivos. Por outro lado, pode acontecer das características da edificação favorecerem a ação de um agente agressivo.

Cada edificação possui uma resistência característica à ação de cada um dos agentes agressivos. A edificação pode ser imune à determinada intensidade de atuação de determinados agentes e não o ser para intensidades maiores. Por outro lado, pode acontecer das características da edificação favorecerem a ação de um agente agressivo. A predisposição de uma estrutura, ou de uma de suas partes, para apresentar problemas patológicos pode ser ocasionada durante a fase de projeto, de construção ou ser adquirida ao longo da fase de uso (CASTRO,1999).

Para Dal Bo, (2012), as falhas localizadas nas estruturas metálicas levam ao prejuízo da peça ou ao colapso quando atingem alguns dos estados limites últimos ou estados limites de utilização, provocando perdas humanas ou perdas econômicas importantes. De forma geral, Dal Bo (2012) destaca que manifestações patológicas em estruturas podem ser divididas em três categorias:

- **Adquiridas** – São manifestações patológicas estruturais provenientes da ação de elementos externos, como a poluição atmosférica, umidade, gases ou líquidos corrosivos e vibrações excessivas provocadas pelo uso indevido da estrutura. Resultam, em sua maioria, de problemas relacionados com a falta de preparo inicial da estrutura ou com a falta de manutenção como problemas com a corrosão, que é a mais visível.

- **Transmitidas** – Originárias de vícios ou desconhecimento técnico de fabricação (Figura 1) ou da montagem da estrutura, e por esse motivo, são transmitidas de obra para obra. Como por exemplo, o caso de soldadores que não se preocupam em retirar a pintura dos pontos de solda, ignorando que a carbonização da tinta possa prejudicar a qualidade do serviço. Casos como a falta de prumo, também estão inclusos.

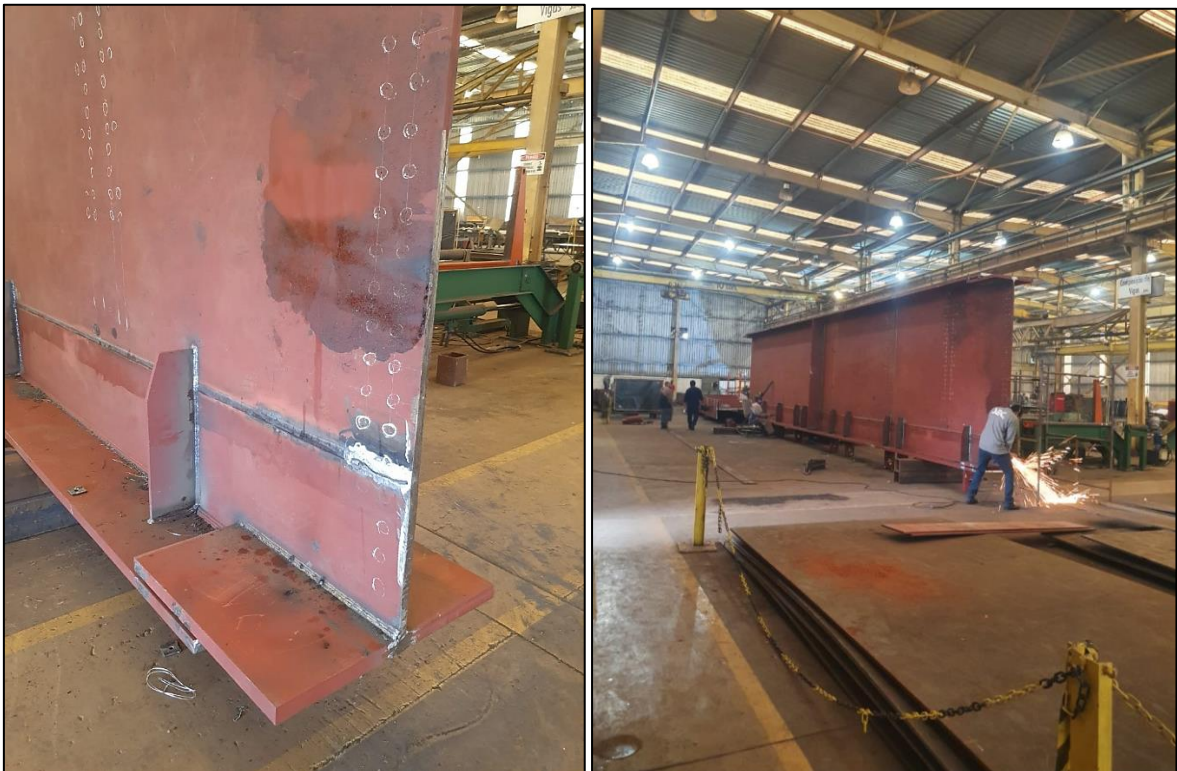


Figura 1: Processo de fabricação de uma viga composta

- **Atávicas** – Consideradas manifestações patológicas resultantes da má concepção de projeto, erros de cálculo, escolhas de perfilados ou chapas de espessuras inadequadas ou, ainda, do uso de tipos de aço com resistência diferente das consideradas no projeto. Estes problemas não são fáceis de detecção e costumam exigir reforços, adições ou escoramentos.

2.1 Tipos De Manifestações Patológicas

2.1.1 Corrosão

Os metais são pouco estáveis e tendem a oxidar para retornarem à sua forma de menor nível de energia, como são encontrados na natureza, por isso a corrosão é um dos principais fatores que contribuem para danificação da estrutura metálica, isso se deve ao processo de degradação de um material pela ação do meio.



Figura 2: Perfil (barra chata) sob efeito corrosivo.

Neste processo, ocorre uma troca de elétrons entre um elemento químico do material e um do meio. A transferência de elétrons entre o material é descrita pela reação redox. Na reação redox, as semirreações de oxidação (elemento perde elétrons e aumenta seu número de oxidação) e redução (elemento recebe elétrons e reduz seu número de oxidação) ocorrem simultaneamente, como mostra a Figura 1 (TEIXEIRA,2007; LUZ, 2018).

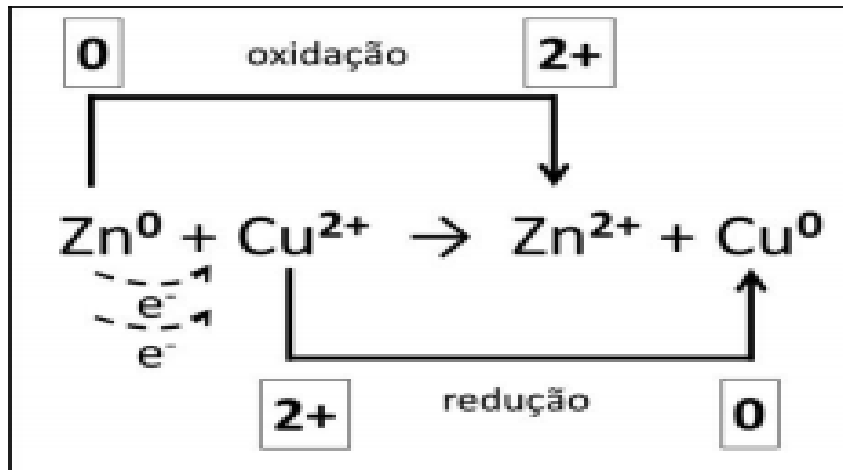


Figura 3: Reação de oxidação. Fonte: (BRAGA, 2017).

A corrosão ocorre com contato direto entre o material e o agente corrosivo, sem presença de eletrólito (solução aquosa) e sem formação de corrente elétrica. Exemplo: formação da ferrugem pela reação entre ferro metálico e oxigênio do ar, com produção de óxido de ferro. A reação eletroquímica (ou úmida ou galvânica) ocorre na presença de eletrólito (solução aquosa) e envolve a formação de corrente elétrica (TEIXEIRA 2007, LUZ, 2018).

Conforme Teixeira (2007), toda construção, independentemente do sistema construtivo adotado, demanda cuidados para garantir sua durabilidade perante as agressões do meio ambiente. No caso das estruturas metálicas, a proteção frente à corrosão pode ser feita através de medidas simples, descritas em normas, códigos de conduta e manuais. A principal abordagem pode ser agrupada em três linhas de atuação complementares:

- Cuidados no detalhamento do projeto

Como é de conhecimento geral, a corrosão atmosférica é um fenômeno espontâneo que, para acontecer, necessita de água e, concomitantemente, do oxigênio atmosférico, sobre a superfície metálica. Então, por que permitir propositalmente a ocorrência de situações em que a água possa ser mantida sobre a estrutura, em vez de ser retirada? Por isso, a recomendação é a de que os projetos prevejam sempre furos de drenagem para o escoamento da água, onde necessário. Outra ação simples é evitar a formação de cavidades e frestas, onde a água possa ficar retida.

- Escolha do melhor sistema de proteção

A seleção de um sistema de proteção adequado depende do conhecimento prévio de alguns fatores, como a agressividade do ambiente circundante e interno à estrutura. Esse é o ponto de partida para a escolha de um sistema de proteção que proporcione a durabilidade desejada; dimensão e forma dos componentes metálicos estruturais; possibilidade de intervenções periódicas de manutenção.

- Impactos ambientais

É cada vez mais importante considerar a utilização das tintas com baixo teor de solventes e que não contenham pigmentos nocivos ao meio ambiente. Da mesma forma, sistemas de proteção mais duradouros devem ser preferidos àqueles que necessitam de manutenção periódica mais frequente. Na hora de comparar diferentes opções de tratamento, é aconselhável fazer o cálculo do custo do ciclo de vida de cada solução para fazer a escolha mais acertada.

A especificação do sistema de pintura deve levar em conta: Fatores climáticos - radiação ultravioleta, variação de temperatura, chuvas, umidade, poeiras, névoa salina etc.; Poluentes presentes na atmosfera; Tipo de superfície a ser protegida; Características do microambiente; Temperatura e condições de trabalho; Método de aplicação da pintura, entre outros (TEIXEIRA 2007, LUZ, 2018).

Cabe lembrar que a pintura de estruturas metálicas envolve muito mais do que a simples aplicação de tintas. O sistema deve abranger: preparo da superfície, grau de limpeza, perfil de rugosidade; Número de demãos da tinta de fundo e espessuras da película seca por demão em micrômetros; Intervalo entre cada demão;

Número de demãos da tinta intermediária (se houver) ou da tinta de acabamento e espessuras por demão; Intervalo entre cada demão e tempo para a cura final antes de colocar o equipamento ou a estrutura em operação (GNECCO et al., 2003; LUZ, 2018).

Os dois dos métodos mais consolidados para a proteção do aço contra a corrosão são a pintura e a galvanização. Quando a escolha recai sobre a pintura, é importante não deixar de observar as normas internacionais. Fabio Domingos Pannoni, Consultor Técnico de Produto & Processo da Gerdau Aços Longos Brasil, explica que os sistemas propostos na norma ISO 12944 são reconhecidos mundialmente e tendem a funcionar muito bem na maior parte das situações práticas. Uma alternativa eficaz é a galvanização a quente. Segundo Pannoni, há uma crença infundada no Brasil de que esse tratamento é uma solução cara (GNECCO et al., 2003; LUZ, 2018).

Na realidade, a galvanização é, em muitas situações, tão ou mais vantajosa que a pintura, especialmente quando analisado o custo total da proteção ao longo da vida útil da estrutura. A durabilidade do aço galvanizado alcança facilmente 75 anos em uma grande variedade de ambientes. Já que os custos podem ser semelhantes, a dica do especialista é nunca deixar de avaliar as duas possibilidades de proteção (GNECCO et al., 2003; LUZ, 2018).

2.1.2 Corrosão atmosférica dos aços

Cada anomalia observada em uma edificação pode ter diversas causas e origens, mesmo o mecanismo de desenvolvimento sendo um só. Por outro lado, apenas por meio da identificação dos diversos tipos e origens, pode realizar-se um bom planejamento e manutenção. No Brasil, as construções desde pequeno porte até as de grande porte, como pontes, viadutos, túneis, obras hidráulicas, construções residenciais e comerciais, sofrem pela ação do clima. Elevados gradientes de temperatura, muitas vezes no mesmo dia, grandes volumes de chuvas, poluição e ambientes de grande agressividade contribuem para o surgimento de manifestações patológicas que estão associadas com uma ou mais formas de deterioração (SACCHI 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem características que o classificam como uma pesquisa exploratória-descritiva com base na literatura, a fim de buscar conceitos sobre um mapeamento de estruturas metálicas, considerando suas principais manifestações patológicas.

O presente trabalho aborda como metodologia a revisão bibliográfica, sendo realizada por meio de uma análise crítica, tendo como fonte de pesquisa uma variedade literária pertinente à temática em estudo, tais como: consultas a sites relacionados ao tema, artigos científicos, publicações e periódicos, no intuito de buscar um referencial teórico e prático sobre manifestações patológicas em estruturas metálicas.

Para isso, foram desenvolvidos os seguintes estudos:

- Entender qual a importância do conhecimento em manifestações patológicas de estruturas metálicas e como proceder em relação as dificuldades apresentadas sobre o tema.

O período de realização da pesquisa foi de Janeiro a Novembro de 2021.

As palavras-chave para realização da pesquisa foram: manifestações patológicas, estruturas metálicas, oxidação.

Neste contexto a forma de análise dos resultados é procurar compreender e entender os estudos e soluções encontradas na literatura e fazer breves comentários adequando-os ao curso de engenharia civil. Sendo assim propomos uma estrutura de análise fundamentada em duas etapas:

(1.^a) Agrupamento de informações e de dados bibliográficos sobre o objeto de estudo;

(2.^a) Sobreposição e análise das informações coletadas, no intuito de discutir sobre a importância, dificuldades e as principais soluções consideradas quando se trata de manifestações patológicas em estruturas metálicas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas últimas décadas, várias técnicas construtivas foram desenvolvidas para contribuir nas ações preventivas e recuperativas de estruturas em aço afetadas por manifestações patológicas. A evolução das formas de tratamento torna possível garantir um tempo de vida útil dentro das especificações normalizadas e preserva as condições de projeto. Neste capítulo apresenta-se algumas técnicas e materiais mais utilizados para combater as manifestações metodológicas em construções metálicas.

4.1 Procedimentos para prevenção, reparo e recuperação

4.1.1 Aços patináveis

Aços patináveis, também conhecidos como Cor-Ten, são aços de baixa liga e alta resistência mecânica que apresentam uma maior resistência ao enferrujamento em comparação aos aços estruturais comuns (SCHAEFFER et al., 2013; PANNONI, 2014). Este desempenho superior é obtido por meio da adição de elementos de liga tais como cobre, níquel, cromo, silício e fósforo (PANNONI, 2014) que, em contato com o ambiente externo formam a chamada pátina, ou seja, uma camada de óxido altamente resistente à corrosão atmosférica (KAMIMURA et al., 2006).

A camada de ferrugem que se forma na superfície dos aços patináveis tem início de maneira análoga àquela encontrada em aços estruturais convencionais. Neste último, a camada de ferrugem se separa da superfície metálica após um certo período, permitindo assim o reinício de um novo processo de corrosão que ocasiona uma contínua perda de massa metálica (PANNONI, 2014). Já no caso dos aços patináveis, a camada de ferrugem formada é estável e bastante aderente ao metal base, oferecendo não apenas grande resistência à corrosão, mas sendo também responsável por sua aparência atrativa e habilidades de autocura (MORCILLO et al., 2013).

Tais propriedades dão aos aços patináveis uma curva de perda de massa metálica muito característica, como mostrado na Figura 2. Nota-se que o nível de perda de massa atinge um patamar relativamente estável nos aços patináveis, ou seja,

o desgaste tende a manter-se baixo e constante. Em contraste, o desgaste em um aço estrutural convencional tende a acontecer em ciclos que aumentam com o tempo e que podem ser aproximados por uma reta com inclinação positiva, o que significa que tal desgaste é constante e crescente, danificando o material de forma significativa.

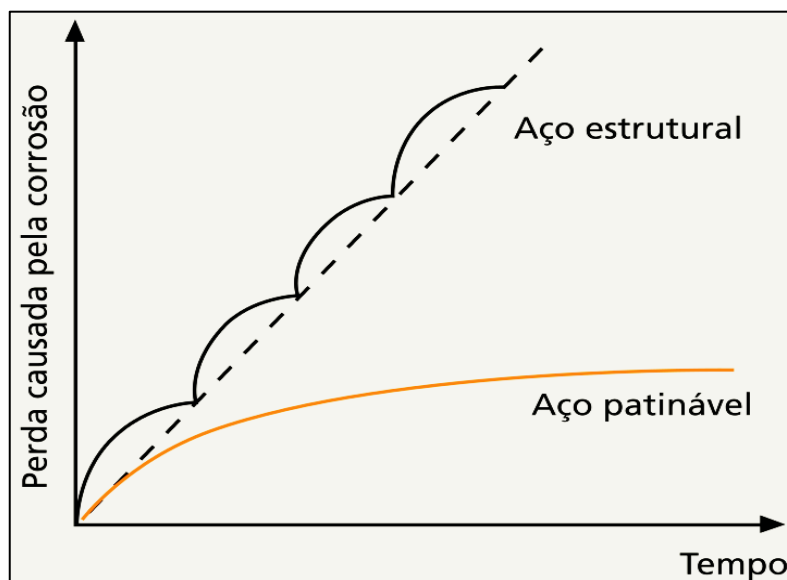


Figura 4: Comparação entre perda de massa causada pela corrosão de um aço patinável e um aço convencional. Fonte: Pannoni (2014)

A formação da pátina ocorre devido a três fatores que estão ligados à composição química do próprio aço, à fatores ambientais e, por fim, fatores ligados à geometria da peça (PANNONI 2014). De forma mais específica, é agora bem aceito que para a formação de uma camada densa e aderente de ferrugem é necessário a ocorrência de ciclos de condições secas e úmidas, com a água da chuva limpando a superfície do aço, a umidade acumulada sendo drenada facilmente e a ação de uma secagem rápida, ou seja, a ausência de longos períodos de umidade (MORCILLO et al., 2013).

Além disso, a estrutura do material deve estar livre de fendas, cavidades e outros lugares onde a água poderia armazenar, diminuindo assim a evolução da pátina protetiva, ou mesmo impedindo por completo a formação da mesma (KAMIMURA et al., 2006, MORCILLO et al., 2013). É necessário se atentar também ao fato de que a estabilização da camada de ferrugem pode levar de 6 a 8 anos em condições atmosféricas menos corrosivas e 4 a 6 anos em condições atmosféricas

mais corrosivas (MORCILLO et al., 2013). Estes fatores são ainda mais importantes ao se levar em conta que grandes obras de engenharia civil têm se tornado cada vez mais comuns e, também, mais complexas, necessitando de materiais que suportem as mais distintas condições.

Todas estas características tornam os aços patináveis uma opção atrativa para a composição estrutural de diversos tipos de empreendimentos, tais como pontes e viadutos, garantindo ainda mais benefícios quando comparados a outros tipos de aço no quesito custo benefício. Como não é necessário a aplicação de um revestimento de tinta protetiva ou mesmo decorativa, os custos de construção de pontes com aço patinável são cerca de 5% menores em comparação às alternativas convencionais, o que também proporciona redução no tempo de construção da obra e de seu impacto ambiental, já que não há liberação de compostos voláteis presentes nas tintas (PANNONI, 2014).

Apesar de todos estes fatores positivos com relação ao uso de aços patináveis, existem limitações bem conhecidas para seu uso e elas normalmente envolvem ambientes mais extremos, como atmosfera muito poluída, ambientes permanentemente úmidos e marinhos. Estas localizações apresentam componentes químicos ou condições de umidade que impedem a formação de pátina, inviabilizando a utilização deste tipo de material (PANNONI, 2014).

Pesquisas envolvendo o desenvolvimento de novos compostos de metais patináveis vêm sendo desenvolvidas nesta última década justamente para tentar amenizar os efeitos adversos das condições citadas anteriormente. Elas têm se focado justamente na tentativa de criar uma ainda maior resistência à corrosão, a redução no tempo de formação da camada de ferrugem protetiva e aumentar sua aplicabilidade em ambientes com condições severas, tais como na indústria e ambientes marinhos (MORCILLO et al., 2014).

4.1.2 PROTEÇÃO COM REVESTIMENTOS ORGÂNICOS

A proteção de uma estrutura é uma das maneiras mais econômicas de se atingir sua vida útil. Uma forma eficiente de se realizar tal proteção é com o uso de uma barreira entre o meio externo e o metal que se quer proteger, seja utilizando

barreiras orgânicas ou inorgânicas. A barreira orgânica é o método mais comumente utilizado para a proteção contra corrosão de materiais metálicos, seja em aplicações de transporte, como automóveis e navios, ou em estruturas metálicas presentes em pontes, edificações etc. (LYON, 2017).

Proteger metais reativos com coberturas orgânicas é uma forma relativamente simples de proteger sua estrutura e ao mesmo tempo adicionar algumas propriedades de superfície de interesse, tais como cor, redução de ruído, isolamento eletrônico, entre outros (GRUNDMEIER; SCHMIDT; STRATMANN, 2000). As coberturas orgânicas consistem em um material ligante ou “veículo”, pigmentos, solventes e aditivos, tais como agentes endurecedores, agentes estabilizadores, compostos ativadores de superfície e agentes dispersivos (HU et al., 2012). A Figura 3 mostra a representação da camada de proteção formada pelo revestimento.

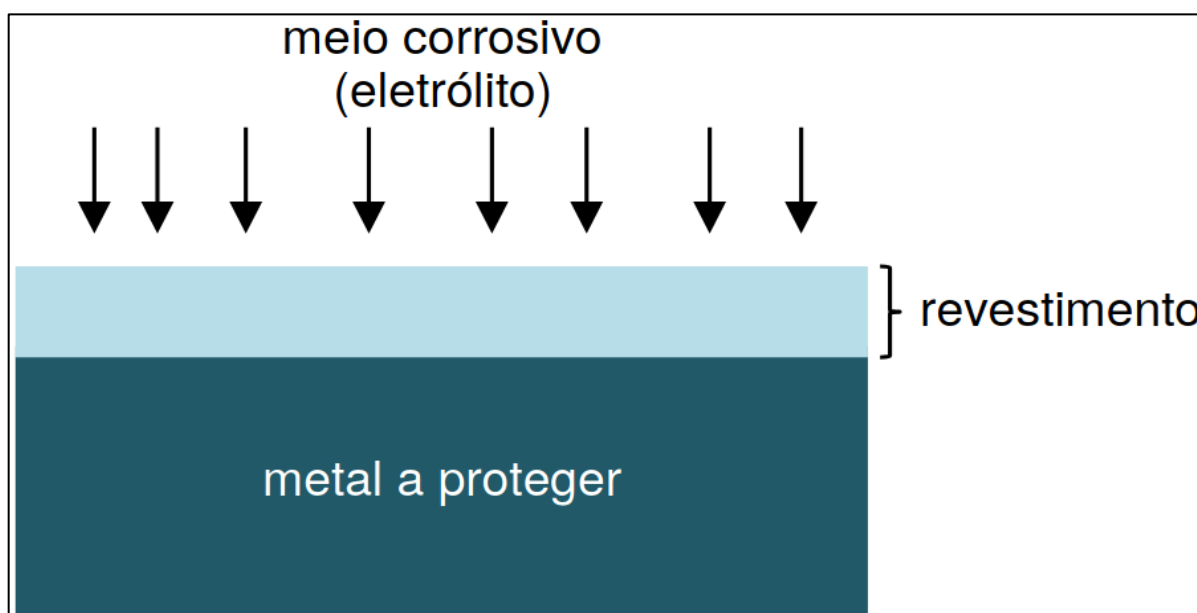


Figura 5: Revestimento de proteção por barreira (Fonte: CARDOSO, 2013)

O “veículo”, usualmente polímeros de baixo peso molecular, determina as propriedades químicas e físicas do revestimento, sendo o responsável direto pela continuidade e formação da película de tinta (GRUNDMEIER; SCHMIDT; STRATMANN, 2000). Os pigmentos, por sua vez, são partículas sólidas, insolúveis no veículo, utilizados no revestimento com o objetivo estético ou impermeabilizante, também contribuindo com a proteção anticorrosiva (CARDOSO, 2013). Por fim, os solventes são substâncias usadas para solubilizar a resina, controlar a viscosidade e

a facilitar a aplicação da tinta e, por isto, o balanço inadequado da composição do revestimento pode ser o responsável por muitos problemas ocorridos na aplicação do mesmo (CARDOSO, 2013).

Esta quantidade de componentes faz destes revestimentos uma mistura muito complexa de elementos. Muitos contêm diversas substâncias de cada uma das categorias descritas acima, sendo que cada uma é em si, uma complexa mistura química, tornando o número de possíveis combinações quase ilimitadas, assim como as possíveis aplicações (WICKS; JONES; PAPPAS, 2007). Apesar desta grande quantidade de possíveis combinações químicas, todas devem apresentar certas características físico-químicas para garantirem a durabilidade do revestimento por pintura. As mais importantes são: aderência, flexibilidade, resistência à abrasão e impacto, resistência à água e às condições de exposição atmosférica (FRAGATA, 2009).

A aderência é a propriedade mais básica para se garantir um revestimento de qualidade. Para se obter uma boa aderência, a preparação da superfície que se deseja revestir deve ser bem executada. Tal preparação envolve a remoção de contaminantes da superfície e a criação de condições adequadas para essa aderência ao substrato (CARDOSO, 2013). Tal aderência pode ocorrer por reação química entre o revestimento e o substrato, pela atração entre os grupos polares das moléculas da resina com os grupos polares do substrato e, por fim, por aderência mecânica, baseada na rugosidade da superfície do substrato (FRAGATA, 2009).

Quanto à resistência à abrasão e impacto, à água e às condições de exposição atmosférica, é evidente que os revestimentos podem ficar sujeitos à ação de diversos agentes que contribuem para sua degradação. Por isto é fundamental que eles sejam desenvolvidos com propriedades específicas que lhes forneçam resistência às condições adversas às quais eles estarão sujeitos. Uma vez aplicado, o revestimento orgânico é um dos modos de proteção com melhor custo/benefício para se evitar a corrosão de objetos e estruturas metálicas.

4.2.3 Galvanização

A galvanização é o processo de aplicação de uma camada de um metal reativo, como o zinco, para a proteção de estruturas metálicas contra a corrosão (PANNONI, 2008). Por ser mais reativo que o substrato de aço em que se encontra depositado, o zinco sofre corrosão por uma reação catódica que previne a corrosão de ocorrer no substrato de aço (SHIBLI; MEENA; REMYA, 2015). Devido a isto o zinco é chamado de metal ou ânodo de sacrifício (SANTOS; RODRIGUES; DICK, 2013).

Em outras palavras, o processo de galvanização é um exemplo de proteção catódica, onde a superfície metálica a ser protegida é transformada em um cátodo e o metal de sacrifício, mais facilmente corrosivo, é utilizado como ânodo, formando uma espécie de célula eletroquímica. A Figura 4 mostra o esquema de revestimento anódico.

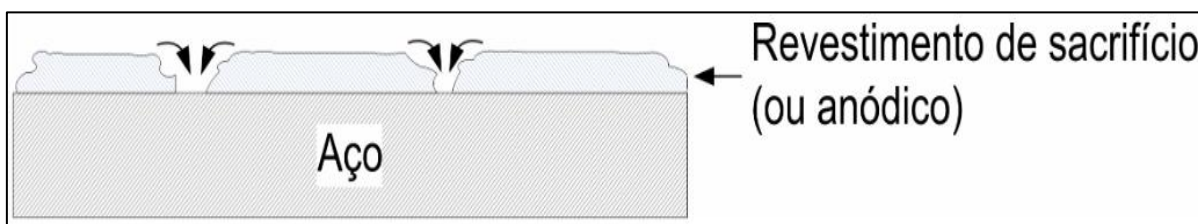


Figura 6: Esquema de revestimento de sacrifício. Fonte: Adaptado de Pannoni (2008)

Existem diversas formas de se aplicar a camada protetora de zinco. Dentre elas, a galvanização a fogo é o processo de revestimento de zinco mais comumente utilizado, sendo que o componente a ser protegido é imerso em banho de zinco fundido (PANNONI, 2008). Devido a simplicidade do processo, a galvanização a fogo tem sido extensivamente utilizada em vários ramos industriais, tais como no mercado de automóveis, aplicações em sistemas elétricos domésticos e construções em geral (SHIBLI; MEENA; REMYA, 2015).

Apesar de simples, tal processo garante uma série de benefícios e propriedades interessantes. São elas (PANNONI, 2008):

- Custo inicial inferior: a galvanização a fogo possui custos muito competitivos quando comparadas a outras formas de proteção estruturas metálicas, como a proteção com revestimento orgânico;

- Pequena manutenção: mesmo que o processo inicial de galvanização acabe sendo mais caro do que outras opções, a galvanização a fogo apresenta menores custos de manutenção a longo prazo, em especial em casos em que os locais de manutenção são remotos ou de difícil acesso;
- Vida longa: a proteção galvânica pode durar exceder os 40 anos em ambientes menos agressivos, mas ainda assim pode chegar a durar de 10 a 30 anos em situações em que o ambiente seja agressivo;
- Impacto ambiental: o revestimento não é tóxico e não contém substâncias voláteis;
- Proteção uniforme e velocidade na aplicação: ao contrário da aplicação de revestimento orgânico que pode levar dias, a proteção galvânica pode ser aplicada em minutos, além de tal proteção tem acesso a áreas que seriam de difícil acesso por outros métodos de proteção, tais como rebaixos e cantos-vivos.

Mesmo apresentando tantos benefícios, a técnica também possui algumas desvantagens. As principais são (PANNONI, 2008):

- A galvanização não pode ser feita no local da obra, mas sim em uma unidade industrial específica para o processo;
- A coloração do zinco só pode ser alterada por meio da pintura, o que pode adicionar custos ao empreendimento;
- A alta temperatura do banho em zinco pode causar distorções em certos componentes;
- A soldagem de componentes de aço galvanizados a fogo pode demandar procedimentos diferentes daqueles realizados em aços não revestidos.

De maneira geral, o processo de galvanização a fogo ocorre em diversas etapas que dependem de fatores como a composição do aço, a limpeza e preparação cuidadosa do componente a ser tratado (SHIBLI; MEENA; REMYA, 2015). Além disso, o processo pode ocorrer de duas formas: a seco ou úmido, sendo que o que difere uma condição da outra é se há ou não o processo de secagem da peça antes banho

de zinco, já que ela precisa passar por certos processos de lavagem como mostrado na Figura 5.

Controlar as condições para aplicação do revestimento de zinco garante que a proteção da estrutura de aço cumpra sua função de forma eficiente e duradoura. Como resultado, apesar de ser um processo que já está presente na indústria a mais de um século, muitos estudos ainda buscam aprimorar a galvanização para que ela se adequa às exigências de mercados cada vez mais competitivos, como o automotivo, que requer materiais com alta resistência, formabilidade e resistência à fadiga (SHIBLI; MEENA; REMYA, 2015).

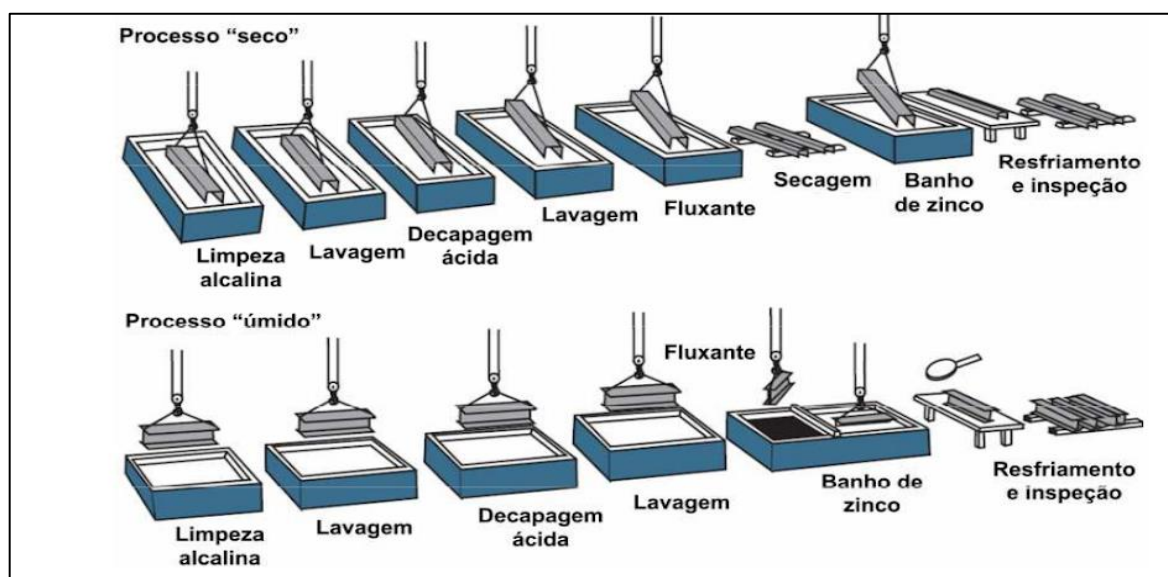


Figura 7: Processos em uma linha de galvanização a fogo. Fonte: Pannoni (2008)

4.1.4 Proteção catódica

A proteção catódica é muito utilizada como método de combate à corrosão em estruturas metálicas, especialmente em casos em que metal está enterrado ou em contato com o mar (ARAUJO; PANOSSIAN; LOURENÇO, 2013). Existem dois métodos que podem ser empregados para a proteção catódica: a proteção catódica galvânica e a proteção catódica por corrente impressa. Como discutido anteriormente, a proteção catódica galvânica consiste na aplicação de uma camada de metal reativo sobre o aço que se quer proteger, de forma que ele se torne um ânodo de sacrifício, ou seja, se deteriore no lugar do substrato em que ele foi aplicado.

Já no método de proteção catódica por corrente impressa, um fluxo de corrente contínua para a redução do potencial entre a interface do aço e do material no qual ele está em contato para valores mais negativos do que seu potencial natural de corrosão (GALVÃO, 2008; ARAÚJO; PANOSSIAN; LOURENÇO, 2013). A grande vantagem deste método é que a fonte geradora pode ter a potência e a tensão de saída necessárias para cada tipo de empreendimento, podendo então aplicado em qualquer meio, mesmo os que apresentam alta resistividade elétrica, além de oferecer proteção para instalações metálicas de grande porte (GALVÃO, 2008).

A Figura 6 mostra o esquema de funcionamento do método. Como implicado na imagem, o maior uso deste método de proteção catódica no Brasil se dá em gasodutos e oleodutos, que precisam percorrer longas distâncias para o transporte e distribuição destas substâncias de maneira segura (GALVÃO, 2008).

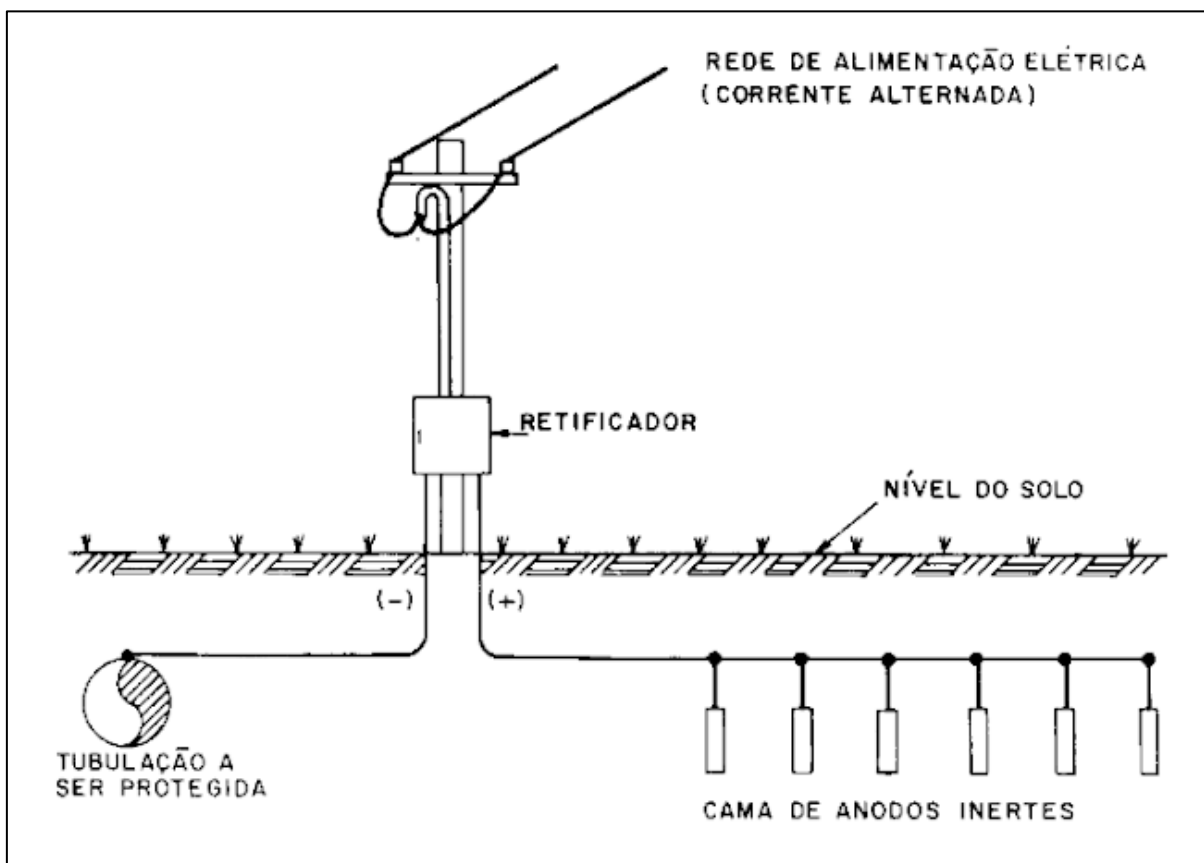


Figura 8: Esquema de funcionamento e aplicação de proteção catódica por corrente impressa. Fonte: Galvão (2008)

Basicamente, dois mecanismos são responsáveis pela redução da corrosão pela proteção catódica (PEDEFERRI, 1996):

- O potencial do metal é reduzido de forma a atingir um valor que impeça a reação de oxirredução $M \rightarrow M^{n+} + ne^-$;
- O eletrólito adjacente à superfície metálica se torna mais básico devido à redução dos íons de hidrogênio, H^+ , ou redução do oxigênio, levando a um aumento na alcalinidade que, por sua vez, tem um efeito benéfico na proteção de estruturas em água do mar.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os sistemas galvânicos e por corrente impressa para proteção catódica.

Tabela 1: Diferenças entres as proteções catódicas por galvanização e corrente impressa

Sistema galvânico	Sistema por corrente impressa
Não requer fonte externa de corrente elétrica	Requer fonte externa de corrente elétrica
Em geral, econômico para requisitos de corrente elétrica de até 5A	Em geral, econômico para requisitos de corrente elétrica acima de 5A
Manutenção simples	Manutenção mais complexa
Possui vida útil limitada	Pode ser projetado para vida bastante longa
Necessita de acompanhamento operacional	Necessita de acompanhamento operacional
Somente para eletrólito de muito baixa resistividade elétrica. Em geral de até 3000Ωcm	Pode ser usado em eletrólitos com qualquer valor de resistividade elétrica, inclusive os de muito baixa resistividade
Não apresenta problemas de interferência com estruturas estranhas	Pode apresentar problemas de interferência com estruturas estranhas

Não admite regulagem ou admite regulagem precária	Pode ser regulado com facilidade
---	----------------------------------

4.1.5 Aços inoxidáveis

Aços inoxidáveis são ligas de ferro (Fe), carbono (C) e cromo (Cr), com um mínimo de 10,50% de cromo (CARBÓ, 2008). Esta composição permite a formação de um filme de óxido de cromo (Cr_2O_3) contínuo e aderente na superfície do aço, fazendo com que este apresente características que forneçam resistência à corrosão em meios agressivos e em temperaturas elevadas (BARBOSA, 2014). Ao fenômeno de formação do filme de óxido de cromo dá-se o nome de passividade (CARBÓ, 2008).

Além dos principais elementos, os aços inoxidáveis podem ter, em menor quantidade, uma grande variedade de elementos, tais como, o silício, manganês, molibdênio, nitrogênio, alumínio, cobre, entre outros (BARBOSA, 2014). Eles são resultantes dos materiais utilizados na fabricação do aço ou podem vir a ser adicionados como elementos de liga para melhorar algumas propriedades específicas.

Os aços inoxidáveis podem ser classificados de diferentes formas, sendo que a mais comum diz respeito à sua microestrutura. Neste contexto, podem ser considerados dois grandes grupos principais: ferríticos e austeníticos (CARBÓ, 2008). Os ferríticos são aços magnéticos com estrutura cúbica de corpo centrado, basicamente ligas Fe-Cr, enquanto os austeníticos são aços não magnéticos com estrutura cúbica de faces centradas, basicamente ligas Fe-Cr-Ni (CARBÓ, 2008; BARBOSA, 2014).

Os aços ferríticos são caracterizados por conterem em sua composição porcentagens de cromo que variam entre 11 e 27%, e carbono entre 0,08 até 20%, além de pequenas quantidades de nióbio, alumínio e titânio (ASM, 2000). Já os aços austeníticos constituem a maior família de aço inoxidável, tanto em termos de liga quanto em uso, podendo conter ligas de ferro-cromo-níquel, ferro-cromo-manganês-níquel, ferro-níquel-cromo para ambientes extremamente corrosivos, e os chamados super austeníticos, ligas contendo 6% de molibdênio e outros compostos como cromo, níquel e nitrogênio para aumentar a resistência à corrosão (ASM, 2000).

Tais características fazem deste tipo de aço o ideal para ser utilizado em uma grande variedade de aplicações, sendo que a maior parte delas ocorre em indústrias de engenharia química e de energia (ASM, 2000). A Tabela 2 mostra as aplicações do aço inoxidável e sua percentagem de uso. Nota-se que a indústria química e de energia correspondem a um terço de todo o uso deste material.

Tabela 2: Diferenças entre as proteções catódicas por galvanização e corrente impressa

Aplicações	Porcentagem
Equipamentos industriais	
Engenharia química e energia	34
Indústria de alimentos e bebidas	18
Indústria de transporte	9
Arquitetura	5
Bens de consumo	
Aplicações domésticas, utensílios	28
Pequenas aplicações elétricas e eletrônicas	6

Fonte: Adaptado de ASM (2010)

A grande variedade de usos do aço inoxidável se justifica por suas propriedades que podem ser listadas como sendo: resistência à corrosão, resistência à oxidação, resistência mecânica, facilidade de limpeza, resistência à abrasão e erosão, além de propriedades físicas como, condutividade térmica, resistividade elétrica e propriedades magnéticas (MARQUES, 2015).

5. CONCLUSÃO

As manifestações patológicas são comuns na construção civil, causando transtorno e prejuízo financeiro aos proprietários. Nota-se que durante a pesquisa é possível observar que as manifestações patológicas ocorrem por vários fatores, podendo causar danos nas diversas áreas da edificação, gerando prejuízos financeiros, estruturais e à saúde dos residentes. Para cada tipo de anomalia deve-se ter um diagnóstico específico, sendo necessário um levantamento de informações sobre as possíveis causas e, assim, poder sanar o problema da melhor forma possível.

Entre elas, a corrosão das armaduras é uma das principais causas do surgimento de manifestações patológicas nas estruturas metálicas. Para prevenir e/ou minimizar a corrosão é importante conhecer o comportamento do aço, os principais agentes envolvidos no estabelecimento de processo corrosivo e o seu mecanismo.

Conclui-se neste trabalho que para diminuir as manifestações patológicas, são necessários projetos com bom detalhamento e interação direta com a parte de fabricação, montagem e manutenção preventiva. Cita-se ainda a inspeção preliminar, delimitação do contorno de reparo, remoção do material deteriorado, revestimento da armadura e recomposição da estrutura como principais etapas de reparo para as patologias apresentadas (MARQUES, 2015).

Podemos citar também que o estudo das manifestações patológicas deve ser feito de maneira mais acurada, considerando dados coletados nas inspeções e detalhamento, mantendo assim um controle maior nas causas das patologias apresentadas. A divulgação de estudos científicos também é relevante para conhecimento dos diversos problemas ocasionados em diversos contextos e empreendimentos, contribuindo assim para minimização de problemas estruturais. É importante salientar que também são necessárias estudos e mão-de-obra qualificada, além de equipamentos específicos para cada atividade, com o intuito de garantir a qualidade dos projetos.

6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A.; PANOSSIAN, Z.; LOURENÇO, Z. Proteção catódica de estruturas de concreto. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, 6, 178–193, 2013.

ASM International. **Introduction to stainless steels. AMS, 2000.** Disponível em: <https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/06940G_Chapter_1.pdf/53f29213-5dd6-4499-9959-841477b385b9>. Acessado em 03/11/2019.

BASTOS, A.C.; SIMÕES, M. G; FERREIRA, A. M. **Corros. Prot. Mater.**, 23, 6 (2004).

BARBOSA, P. A. **Estudo do comportamento mecânico na usinagem de aços inoxidáveis.** Tese (Doutor em Ciências) - Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

BRAGA. P. **Corrosão.** Roteiro - Disciplina ODB 401 – Materiais para uso indireto, 2017, 3p.

CARBÓ, H. M. **Aços inoxidáveis: aplicações e especificações.** Arcelor Mittal, 2008. Disponível em: <<http://guides.com.br/home/wp-content/uploads/2011/12/inonx-apost-tec.pdf>>. Acesso em 03/09/2019.

CARDOSO, R. **Pintura para metais como proteção anticorrosiva.** Dossiê técnico. SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2013.

CASTRO, E. M. C. de. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica.** 202f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, 1999.

DAL BO, T. C. **Falhas e Patologias nas Estruturas Metálicas.** 13f. Congresso Latino-Americano de Construção Metálica, São Paulo, 2012. **Estrutura Metálica: Principais vantagens na construção civil.** Disponível em:<https://engenhariaconcreta.com/estrutura-metalica-principais-vantagens-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 8 abril. 2019.

DUTRA, A.C.; NUNES, L.P. **Proteção catódica - Técnica de combate à corrosão.** Rio de Janeiro: Editora Técnica, 1987.

FRAGATA, F. L. **Qualificação para Inspetor de Pintura Nível 1 –Módulo I: A Pintura como Técnica da Proteção Anticorrosiva.** Rio de Janeiro: Publit Soluções Editoriais, 2009.

GALVÃO, M. M. **Efeito do potencial de proteção catódica na corrosão microbiologicamente induzida.** Dissertação (Mestre em Ciências) – Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

GNECCO, C.; MARIANO, R.; FERNANDES, F. Tratamento de Superfície e Pintura. **Instituto Brasileiro De Siderurgia/Centro Brasileiro Da Construção Em Aço,** 2003. 96p.

GENTIL, V. **Corrosão.** 4ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003.

GENTIL, V. **Corrosão.** 4ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 341p, 2003.

GRUNDMEIER, G.; SCHMIDT, W.; STRATMANN, M. **Corrosion protection by organic coatings: electrochemical mechanism and novel methods of investigation.** *Electrochimica Acta*, 45, 2515–2533, 2000.

HU, R. G. Recent progress in corrosion protection of magnesium alloys by organic coatings. **Progress in Organic Coatings**, 73, 129–141, 2012.

KAMIMURA. Composition and protective ability of rust layer formed on weathering steel exposed to various environments. **Corrosion Science**, 48, 2799–2812, 2006.

LUCA BERTOLINI, **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção,** São Paulo, Oficina de textos, 414p., 2010.

LUZ, E. G. **Monitoramento da corrosão no aço carbono SAE 1020, aço galvanizado, alumínio e cobre, considerando as condições climáticas serranas e litorâneas de Santa Catarina.** 218. 65f. Trabalho de conclusão de curso, Centro Universitário Unifacvest.

LYON, S. Advances in corrosion protection by organic coatings: What we know and what we would like to know. **Progress in Organic Coatings**, 102, 2–7, 2017.

MARQUES, V. S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras: Definição das variáveis que interferem no custo.** Trabalho de Diplomação de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 92p. 2015.

MORCILLO, M. Atmospheric corrosion data of weathering steels. A review. **Corrosion Science**, 77, 6–24, 2013.

MORCILLO, M. Weathering steels. From empirical development to scientific design. A review. **Corrosion Science**, 83, 6–31, 2014.

NUNES, L.P.; LOBO, A.C.O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990.

PANNONI, F. D. **Princípios da galvanização a fogo.** Artigo técnico. CBCA – Centro Brasileiro de Construção em Aço. São Paulo, 2008.

PANNONI, F. D. **História, comportamento e usos dos aços patináveis na engenharia estrutural brasileira.** 2009.

PANNONI, F. D., 2014. **Os versáteis aços patináveis.** Artigo técnico. Disponível em <www.abcem.org.lib>lib>php>_download>382_artigos_tecnicos_rcm_ed_105.pdf>. Acessado em 29/10/2019.

PEDEFERRI, P. Cathodic protection and cathodic prevention. **Construction and Building Materials**, 10, 391–402, 1996.

RIZZO, L. A. D. Estudo do colapso progressivo em estruturas de aço. 2013, 98f. **Trabalho de conclusão de curso.** Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2013.

SANTOS B. A. **Investigação de manifestações patológicas nas estruturas de aço do parque do povo.** 16f. Congresso Latino-Americano de Construção Metálica, São Paulo, 2016.

SANTOS B. A. **Investigação de manifestações patológicas nas estruturas de aço do parque do povo**. 16f. Congresso Latino-Americano de Construção Metálica, São Paulo, 2016.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, J. S.; DICK, L. F. P. **Estudo comparativo da resistência à corrosão de aços revestidos pelos processos de galvanização a fogo, galvannealing e galvalume**. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, 10, 280–286, 2013.

SCHAEFFER. L. 2013. **Estudo analisa o uso de aços estruturais resistentes à corrosão atmosférica**. Corte e Conformação de Metais, Janeiro – 2013.

SHIBLI, S. M. A.; MEENA, B. N.; REMYA, R. A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process. **Surface and Coatings Technology**, 262, 210–215, 2015.

SILVA NETO, P. R., - **Avaliação de patologias e recuperação de construções mistas em concreto e aço**; Pós-graduação: Mestrado na Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp – área de concentração Geotecnia, 2006.

SILVA, R. **Manifestações patológicas em sistemas construtivos de aço - algumas medidas preventivas**. 13f. Congresso Latino-Americano de Construção Metálica, São Paulo, 2012.

TEIXEIRA, R. B. Análise da gestão de processo estrutural de construções metálicas. 2007. **Dissertação**. 100f. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

WICKS, Z. W.; JONES, F. N.; PAPPAS, S. P. **Organic coatings: Science and technology**. Wiley, Nova York, 2007.

WOLYNEC, S. **Técnicas eletroquímicas em corrosão**. Editora da Universidade de São Paulo, 2003.