

OS TIPOS DE CORROSÃO EM UM PRÉDIO TIPO P2*

Juliana Diniz e Castro¹
Amaro Francisco Codá dos Santos²

Resumo

Este trabalho apresenta as patologias desencadeadas em um prédio tipo P2 localizado em Dresden, na Alemanha. Esses danos são resultado da metodologia utilizada durante o processo de reconstrução da parte oriental do país, dividido na Guerra Fria, logo após a Segunda Guerra Mundial, e as condições ambientais a que o prédio estava submetido. O objetivo deste trabalho é investigar as causas tecnológicas, geográficas, econômicas e históricas que levaram à degradação relativamente precoce das moradias da República Democrática Alemã. Foi feita uma análise visual e fotográfica das patologias macroscópicas presentes no edifício Gret-Palucca-9, em Dresden e assim elaboradas as caracterizações dos danos e metodologias de recuperação e manutenção. A maior parte das patologias causadas são os diferentes tipos de corrosão, tanto da armadura quanto do concreto, consequentes das normas de construção vigentes e das condições climáticas da cidade. A partir do resultado encontrado, é possível entender que a durabilidade e vida útil de prédios pode ser menorizada quando elementos como a pressa na execução da obra, a qualidade dos materiais, a falta de normas e metodologia eficientes são subvalorizados.

Palavras-chave: Corrosão; Patologia; Construção; Recuperação

THE CORROSION TYPES IN A P2 BUILDING

Abstract

This work presents the pathologies evolution in a P2 building located in Dresden, Germany. These damages are a result of the methodology used during the rebuilding process from the east part of the country, divided at the Cold War, just after the Second World War, and the environmental conditions that the building was exposed. The work's main goal is dig the fundamental reasons as technology, geographic, economic and historical causes wich brought the relatively early degradation from the German Democratic Republic buildings. It was done a visual and photographic evaluation of the macroscopic pathologies in the Gret-Palucca-9 building, in Dresden, then the damage description was made and a methodoly of repair and preventive maintenance formulated. The major pathologies are different kinds of corrosion from the steel and also the concrete, they are consenquences of the current construction rules and the city wetter. From the found result, it is possible to understand that the buidings life time and durability can be shorter when the execution rush, materials selection, absence of rules and right methodologies are underestimated.

Keywords: Corrosion; Pathology; Construction; Repair

¹ Engenheira Civil, bacharel pelo CEFET-RJ, estudante de mestrado, Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ - Brasil

² Engenheiro Civil, D.Sc. pela UFF, Professor Titular, Departamento de Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, RJ - Brasil

1 INTRODUÇÃO

As patologias em construções são inevitáveis devido à ação do tempo e do meio ambiente em que as estruturas estão expostas. A rapidez do processo de degradação e origem das patologias se dá principalmente pela inversão de valores dentro de uma obra, desde a concepção do projeto até a execução da obra propriamente dita, onde muitos profissionais deixam o lucro e os prazos sobreporem-se à qualidade da construção [1].

Entender a origem das patologias e suas tipologias é importante, porque a partir desses pontos é possível planejar uma estrutura de modo que a mesma atenda ao desempenho esperado e em casos de edificações já existentes, traçar um plano de recuperação e manutenção que vá realmente solucionar os problemas que surgiram ou que irão surgir. Sanar a patologia é muito mais importante do que executar métodos paliativos, a longo prazo fica muito mais caro esconder o problema do que ir afundo em sua origem [2].

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é estudar a origem e os tipos de corrosão e assim entender como as metodologias construtivas da Alemanha Oriental pós Segunda Guerra Mundial propiciaram uma quantidade significativa de patologias, em especial as corrosões, nas séries de pré-moldado. Foi feita uma análise das condições do prédio Gret-Palucca-9, que se localiza na capital da Saxônia, Dresden. Mesmo um país como a Alemanha sofreu com a falta de qualificação no âmbito material na execução de suas obras. Após um longo período de conflitos mundiais, o país encontra-se reunificado e reestruturado, mas ainda precisa lidar com as heranças deixadas por esses acontecimentos de impacto mundial.

O estudo das patologias e recuperação das construções é necessário em todos os países. O intercâmbio de metodologias e tecnologias tem por finalidade aperfeiçoar a melhor execução das obras de recuperação. Ao ser identificada a origem das patologias é possível saná-las de maneira correta, para isso é preciso entender o contexto histórico e econômico da execução da estrutura.

Uma análise geral dos tipos de corrosão é realizada também é apresentado o estudo de caso sobre o prédio Gret-Palucca-9, em Dresden, capital da Saxônia.

2 DESENVOLVIMENTO

O presente trabalho foi organizado de acordo com os seguintes tópicos:

- Entender o que é vida útil;
- Desenvolvimento e embasamento: Visão geral sobre as corrosões;
- Estudo dos tipos de corrosão do prédio Gret-Palucca-9.

2.1 MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMAR A VIDA ÚTIL

O modelo matemático proposto por TUUTTI (1980) [3] para explicar o conceito de vida útil propõe que a corrosão das armaduras ocorre em dois períodos: o período de iniciação da corrosão e o de propagação.

A Figura 1 apresenta o gráfico que é utilizado para ilustrar e esquematizar o conceito de vida útil.

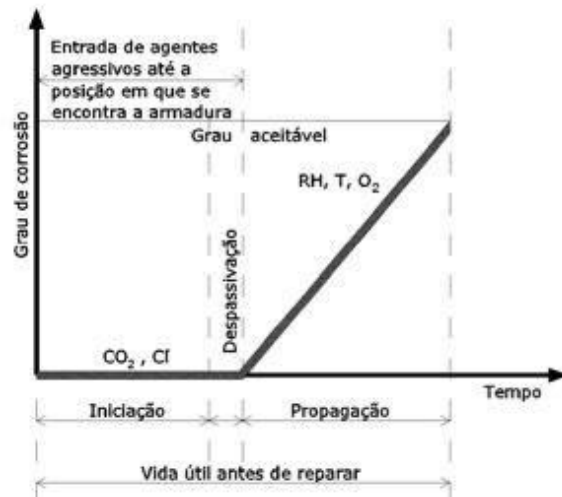


Figura 1. TUUTTI (1980).

A integridade do concreto é imprescindível para a proteção da armadura, pois os componentes do mesmo contribuem para a inibição da corrosão do metal além de servirem de barreira para a entrada de contaminantes.

2.2 DURABILIDADE DO CONCRETO

A durabilidade não é uma característica dos materiais, mas o resultado do processo de interação dos mesmos com o meio ambiente. A utilização de materiais inadequados combinada aos erros de projeto contribuem para as causas das patologias nas estruturas. O primeiro critério a ser adotado para a classificação de uma estrutura de concreto como durável ou não é a quantidade de água no concreto e sua relação com a quantidade de ligante. A relação água cimento define características como densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração, além de sua resistência mecânica. Outra questão a ser levada em conta é capacidade de transporte dos líquidos e gases do meio ambiente para o interior do concreto.

Devido a alta capacidade dos íons cloretos de romper a proteção da armadura e na presença de umidade e oxigênio corroer a armação, a maioria dos regulamentos limitam a presença desse íon em 0,4% do peso do cimento.

2.3 CORROSÃO DO CONCRETO

O processo de corrosão do concreto é unicamente químico. Este ocorre durante a reação da pasta de cimento com certos elementos, resultando na dissolução do ligante e até mesmo na formação de elementos expansivos. Esse tipo de corrosão depende do meio em que o mesmo se encontra, da concentração de sais, ácidos, bases e da própria característica adquirida pelo concreto durante a sua execução. São três os tipos de corrosão do concreto: corrosão por lixiviação, corrosão por expansão e corrosão química por meio de reação iônica.

A corrosão química por reação iônica se dá pela interação entre os íons magnésio, amônio, cloreto e nitrato e os componentes do cimento. Como resultado ocorre a formação de solução carregada pela água com poder aglomerante. Na corrosão por expansão ocorre uma reação entre os compostos do cimento e os sulfatos, o que faz com que o concreto se expanda e se desagregue.

2.4 CORROSÃO DAS ARMADURAS

A interação de um material com o meio ambiente tem resultados prejudiciais de natureza eletroquímica ou química, no caso das estruturas de concreto armado, esses danos podem ser associados às ações mecânicas, como a corrosão por tensão. Todo esse processo é denominado corrosão.

A ruptura, mesmo que localizada do cobrimento, desencadeia um processo progressivo de deterioração. A falha na eficiência dessa proteção se dá, principalmente, por meio da carbonatação e da contaminação por cloretos no concreto do cobrimento. Solicitações cíclicas, fissuração, materiais inadequados, má execução, fungos, ciclos de molhagem e secagem, fuligem, atmosferas agressivas e variações de temperatura também devem ser levados em conta, pois contribuem e desencadeiam processos altamente corrosivos.

2.4.1 CORROSÃO ELETROQUÍMICA

A corrosão ocorre de maneira espontânea pela necessidade do material atingir sua estabilidade, ou seja, o estado de menor energia. Na natureza os metais são encontrados na forma de óxidos e hidróxidos, pois apresentam um estado mínimo de energia. Esses metais são processados com a finalidade de passarem para o estado metálico, porém quando em contato com o meio ambiente os materiais em questão reagem de maneira a atingir seu estado mais estável, se transformando, assim, em composto.

O principal componente da armadura de aço, utilizado nas estruturas de concreto, é o ferro, esse reage de maneira espontânea ao entrar em contato com o meio ambiente passando a Fe_2O_3 hidratado, ou ferrugem. Essa é a sua composição mais estável, e conseqüentemente em estado de menor energia que o ferro metálico.

A utilização de revestimentos protetores, inibidores e proteção catódica são maneiras de evitar a corrosão em armaduras de aço em estruturas de concreto.

2.4.2 CORROSÃO POR TENSÃO E LOCALIZADA POR PITE

Além da corrosão mais comum, que é a de mudança de estado, também podem ocorrer a corrosão sob tensão e a corrosão localizada por pite na armadura de aço de uma estrutura de concreto.

Quando o metal é submetido simultaneamente a um meio corrosivo e a uma força de tração estática, caracterizada pela formação de trincas, chama-se o processo de corrosão por tensão. As trincas formadas podem ocorrer no contorno dos grãos, caracterizando o tipo intergranular ou por meio dos grãos, caracterizando o transgranular, levando, então, à ruptura do material, ou seja, esse tipo de corrosão é bastante grave. A corrosão sob tensão ocorre, geralmente, na armadura das estruturas de concreto protendido.

A ruptura que ocorre na corrosão por tensão não aconteceria caso as condições que desencadeiam o processo se apresentassem de maneira isolada, ou seja, se submetido somente ao meio corrosivo ou à tensão.

Os materiais metálicos com estrutura hexagonal compacta e estrutura cúbica de corpo centrado como as ligas de aço-carbono, usadas na construção civil têm menos chance de sofrerem a corrosão sob tensão do que os aços inoxidáveis austeníticos e as ligas de alumínio, que apresentam estrutura cúbica de face

centrada. Os aços austeníticos têm sua fase primária como austenita, ou seja, sua face é centrada em cristal cúbico. Cromo e Níquel, às vezes Manganês e Nitrogênio, são adicionados à liga metálica, o que faz com que o aço não endureça perante tratamento térmico.

Por meio dos íons cloreto na água, a corrosão localizada por pite causa efeitos prejudiciais ao desempenho da armadura metálica. Este tipo de corrosão provoca cavidade com uma relação alta entre o seu comprimento e diâmetro, o que denomina-se pite.

A corrosão localizada por pite se caracteriza pela perda de massa em regiões bem específicas diferenciando-a da corrosão uniforme onde há perda uniforme de massa na superfície do metal. Mesmo tendo uma perda de massa não tão significativa quanto a causada pela corrosão uniforme, a localizada por pite traz efeitos consideravelmente prejudiciais ao metal, podendo provocar a sua ruptura.

Apesar dos íons cloreto serem os mais comuns na natureza, os íons halogênios Br^- e I^- também são agentes causadores da corrosão por pite. O diâmetro dos íons cloreto penetram com facilidade através do filme do óxido devido ao seu diâmetro mais reduzido o que os tornam mais agressivos do que os outros íons halogênios citados.

Os íons halogênios rompem a barreira do filme passivo que protege a armadura e atingem a superfície do metal, esse processo é a etapa inicial da corrosão por pite. A ocorrência do pite estável se dá pela possibilidade de concentração dos íons em um valor mínimo na água.

No interior do pite existem condições que favorecem a continuidade do processo corrosivo, o que o caracteriza como um mecanismo de corrosão autocatalítico. Esse tipo de corrosão é um tipo único de reação anódica.

Sendo esse um processo que ocorre em uma velocidade considerável e em uma escala menorizada, a ruptura do filme passivo, é, praticamente, imperceptível macroscopicamente, o que dificulta identificar os meios em que ocorre o fenômeno.

Existem três mecanismos que explicam a ocorrência da ruptura do filme passivo: Mecanismo de migração iônica através do filme passivo; Mecanismo de adsorção e Mecanismo de ruptura mecânica. A corrosão por pite, na prática, ocorre por causa de defeitos na superfície da armadura.

2.5 PRODUTOS DA CORROSÃO

Na estrutura de concreto armado, a armadura se encontra num meio de pH por volta de 12. Pelo diagrama de Pourbaix, pode ser observado que para a faixa de potencial em torno de -550mV vs. H em pH de 12 uma fina camada de Fe_3O_4 é encontrada na superfície do aço. O Fe_3O_4 tem o papel de conter as ações do meio corrosivo na forma compacta e aderente, o que diminui a dissolução da armadura em termos consideravelmente altos e a protege contra a corrosão na ausência de íons cloreto.

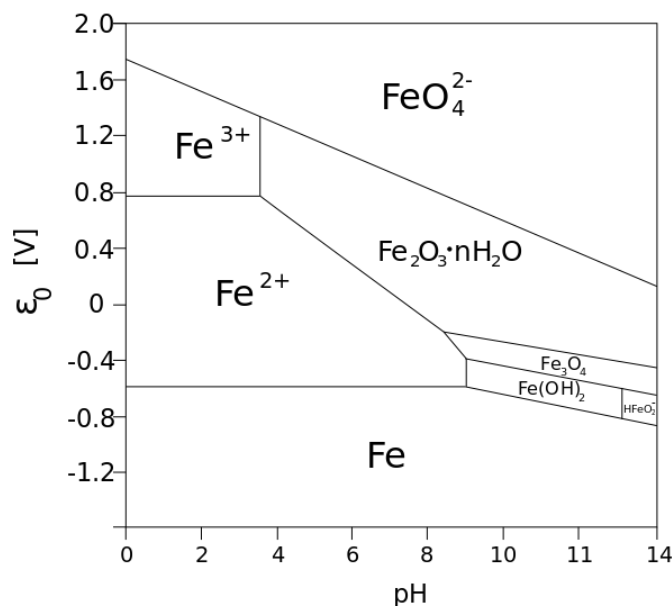


Figura 2. Diagrama de Pourbaix do Ferro.

Independente do pH do meio, os íons cloreto reagem com o filme passivo, o que inibe a sua propriedade de proteção. A concentração máxima de cloreto no concreto para que o filme passivo proteja a estrutura contra a corrosão é de 0,6 a 0,9 Kg de Cl^- por metro cúbico de concreto. Os filmes não passivos resultantes da corrosão da armadura do concreto armado são volumosos, causando assim a expansão do metal. O $Fe_2O_4 \cdot 3H_2O$, ou ferrugem, pode aumentar o volume da armadura em até seis vezes, dessa maneira passa a ser exercida uma pressão sobre a camada de concreto, desencadeando, por consequência, a formação de fissuras, tornando a estrutura vulnerável a sofrer outros tipos de deterioração.

2.6 POLARIZAÇÃO POR PAR GALVÂNICO

A diferença do potencial de equilíbrio entre dois eletrodos é o que define a polarização. Logo, quanto maior for a diferença de resistência de corrosão de um em relação ao outro, mais intensa é a polarização, ou seja, a redução do anodo é maior. A polarização devido à formação de um par galvânico também é utilizada para a proteção de estruturas metálicas contra a corrosão, esse processo denomina-se proteção catódica por anodo de sacrifício. A armadura a ser protegida fica em contato com um eletrodo menos nobre como anodo e a armadura como catodo, passando assim a sofrer redução. O prolongamento da vida útil de estruturas de concreto armado tem sido possível devido à proteção catódica por anodo de sacrifício. A pastilha de Zinco, muito utilizada para proteger a parte submersa do navio, já é utilizada em casos de recuperação de armadura e é um exemplo bastante comum de proteção catódica por anodo de sacrifício.

3 ESTUDO DE CASO

Este artigo tem por finalidade entender e avaliar as condições, em termos de patologia, de um prédio construído na cidade de Dresden. O edifício é do tipo P2, *Parallel 2*, um pré-moldado muito utilizado no início da Guerra Fria na Alemanha Oriental.

Durante os primeiros usos do método P2, que possuíam lajes amplas, de seis metros de comprimento, os apartamentos eram construídos sem parede estrutural entre os cômodos. O objetivo do desenvolvimento do P2 era economia de recursos no método construtivo combinado ao aumento do conforto nos apartamentos.

O prédio foi construído nos anos de 1967/1968 como arranha-céu, o projeto de Dresden. Este é composto por apartamentos estudantis conjugados com cozinha, banheiro e varanda.



Figura 3. trinca na parede onde está localizada a porta de entrada do Gret-Palucca-9.

A patologia da Figura 3 possui 1,50 m de altura, profundidade de 4,7 cm e largura de 1,6 cm. A dimensão da patologia faz com que o concreto e sua armadura fiquem expostos às ações do meio ambiente, a partir daí ocorre o enfraquecimento do concreto e a corrosão eletroquímica da armadura, já que o aço tende a atingir seu estado mais estável, ou seja, de menor energia.



Figura 4. Degradação do concreto e expansão da armadura.

A Figura 4 apresenta a expansão da armadura do concreto na varanda de uso comum do décimo quinto andar do Gret-Palucca-9. Os filmes não passivos resultantes da corrosão da armadura aumentaram o volume do aço provocando assim a deterioração do concreto. A falta de cobrimento aliada aos agentes agressivos do concreto e do meio ambiente desencadearam todo o processo em estudo. A patologia em questão provoca o enfraquecimento da estrutura de concreto

armado colocando em risco a sua segurança e dos que utilizam de alguma maneira o prédio.



Figura 5. Desagregação do concreto.

A Figura 5 registra um alto grau de deterioração do concreto, provocando a sua desagregação. O uso de concreto com resistência característica inferior ao esforço solicitante associado a constante variação térmica e intempéries faz com que o concreto se desagregue, colocando a armadura em exposição e fragilizando local ou globalmente a estrutura.



Figura 6. Cobrimento insuficiente, desagregação do concreto e corrosão da armadura exposta.

A Figura 6 é um registro fotográfico de uma armadura em processo avançado de corrosão e o concreto de cobrimento degradado. Essa patologia está localizada na parte externa do prédio, próxima à porta principal. As variações de temperatura, que fazem com que a peça se dilate e contraia, os agentes agressivos presentes no meio ambiente e a má qualidade na execução do cobrimento fazem com que patologias como essa se surjam.



Figura 7. Desagregação do concreto e corrosão da armadura.

A Figura 7 apresenta forte degradação do concreto e o comprometimento da viga que sustenta o parapeito, por consequência torna a estrutura insegura. As patologias O aço que fixa o guarda-corpo à viga está completamente exposto e deteriorado. A qualidade do material e a metodologia de construção utilizadas na época aliadas aos fatores de intempérie, umidade e variação térmica permitiram o surgimento desse tipo de patologia.

3 CONCLUSÃO

As corrosões encontradas nas construções são comuns. As metodologias construtivas e condições do ambiente favorecem o surgimento das mesmas, que decorrem na maioria dos casos dos erros na concepção e execução dos projetos e seleção dos materiais.

O estudo da origem das patologias é interdisciplinar e é preciso entender os processos químicos, físicos, geográficos, históricos e tecnológicos que o objeto em estudo foi submetido. Este trabalho apresenta uma revisão dos tipos de corrosão e as condições em que se encontra o prédio Gret-Palucca-9 construído durante a Guerra Fria na Alemanha Oriental. O exemplo da Alemanha com o uso dos pré-moldados, mostra que uma metodologia inteligente quando utilizada de maneira indisciplinada traz prejuízos altos.

Portanto, a origem das corrosões encontradas no pré-moldado são consequência do período em que o mesmo foi construído, ou seja, seu contexto histórico e econômico, associado à metodologia construtiva e fatores ambientais, como a presença de enxofre na atmosfera e a variação térmica que a edificação estava submetida.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Professora Andersan dos Santos e ao Professor Sérgio Neves que incentivaram de maneira positiva a elaboração deste artigo e participação no congresso da ABM. Agradecem também ao CEFET-RJ e ao IME pela possibilidade de estudo e desenvolvimento da ciência, tornando possível a interdisciplinaridade das engenharias Civil e de Materiais.

REFERÊNCIAS

- 1 Souza, Vicente Custódio Moreira; Ripper, Thomaz. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. PINI, 1998.

- 2 Bertolini, Luca. Materiais de Construção: Patologia – Reabilitação – Prevenção. Oficina de Textos, 2016.
- 3 Ribeiro, Daniel Vêras. Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise. CAMPUS, 2014.
- 4 Figuras: Tiradas pelos autores em maio de 2014 na cidade de Dresden, Alemanha.
- 5 Diniz e Castro, Juliana. A Origem e os Tipos de Patologias Associados ao Estudo de Caso dos Danos em um Prédio Pré-moldado da República Democrática Alemã. Trabalho de conclusão de curso de bacharel em engenharia civil pelo CEFET-RJ, 2017.2