

ASSOCIAÇÃO VITORIENSE DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA - AVEC
CENTRO UNIVERSITÁRIO FACOL - UNIFACOL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL - BACHARELADO

ADRIELLE SANTOS FERREIRA DA SILVA

CORROSÃO DE ARMADURAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO – PE
2020

ADRIELLE SANTOS FERREIRA DA SILVA

CORROSÃO DE ARMADURAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FACOL – UNIFACOL, como requisito parcial para à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil.

ORIENTADOR: MA. TÁCYLLA CECI MELO FREITAS DE BARROS.

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO - PE
2020

S586c

Silva, Adrielle Santos Ferreira da, 1999 –

Corrosão de armaduras na construção civil / Adrielle Santos Ferreira da Silva - Vitória de Santo Antão, PE: O Autor, 2020.
48 f., 29 cm.

Orientador: Prof. Tácylla Ceci Melo Freitas de Barros

Monografia (Bacharel em Administração) - UNIFACOL – Centro
Universitário FACOL, Vitória de Santo Antão, PE, 2020.
Resumo em português e inglês
Inclui Referências

1. Concreto Armado. 2. Manifestações Patológicas. 3. Íons Cloreto.
4. Gás Carbônico. 5. Carbonatação. I. Barros, Tácylla Ceci Freitas de. II. Título.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO ATA
DE DEFESA

CORROSÃO DE ARMADURAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Adrielle Santos Ferreira da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FACOL - UNIFACOL, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

A Banca Examinadora composta pelos Professores abaixo, sob a presidência do primeiro, submeteu o candidato à análise da Monografia em nível de Graduação e a julgou determinando MENÇÃO GERAL: APROVADA

Tácylla Ceci Melo F. de Barros

Profa. Me. (Tácylla Ceci Melo Freitas de Barros) Centro
Universitário FACOL - UNIFACOL

EXAMINADORES:

Renan Siqueira

Prof. Me. (Renan Siqueira)
Centro Universitário FACOL - UNIFACOL

Iálysson da Silva Medeiros

Prof. (Iálysson da Silva Medeiros)

Anna Regina Tschá

Prof.^a Ma. Anna Regina Tschá
Coordenadora de TCC do Curso de Engenharia Civil FACOL

Endereço: Rua do Estudante, nº 85 — Bairro Universitário. C
55612-650 - Vitória de Santo Antão - PE
Telefone: (81) 3114.1200

Dedico essa monografia aos meus pais que
estiveram presentes na realização de um sonho:

Adriana de Araújo Pessoa Santos Silva e Elizandro
Ferreira da Silva.

AGRADECIMENTOS

Passaram-se 05 anos de estudo, há muitas coisas para agradecer nesse momento tão importante que é uma conclusão de um curso, onde foram compartilhados com várias pessoas. Primeiramente quero agradecer a Deus por estar me guiando, dando força e coragem para seguir com essa jornada que muitas vezes não foi fácil, aos meus pais, Elizandro Ferreira e Adriana de Araújo por estar sempre ao meu lado em todas as decisões que tiver que tomar e embarcar junto comigo nesse sonho que é cursar Engenharia Civil. A minha irmã, Elizandra Santos que sempre esteve do meu lado, ao meu sobrinho, Lorenzo Santos e a Rafael Agostinhos meu primo, claro que não posso esquecer do meu cachorrinho, meu Labrador Ruy, essas pessoas foram e são peças importantes para o meu desenvolvimento como ser humano. Agradeço também a minha orientadora e coordenadora do curso de Engenharia Civil, Tacylla Ceci, por ter dedicado o seu tempo e me acolhido com o projeto. Esses 5 anos Deus me deu as melhores amigas com quem dividi vários momentos que sempre vão estar guardados comigo, onde nossos professores nos chamavam de As Cinco Marias.

“No começo tudo é loucura ou sonho. Nada que o homem fez no mundo teve início de outra maneira. Mas já tantos sonhos se realizaram que não temos o direito de duvidar de nenhum”.

(Monteiro Lobato, 1956)

RESUMO

Com o início acelerado das construções no século XX, no Brasil, o concreto armado ganhou grande destaque nas construções, onde se começou a construir de formas mais esbeltas, levando em consideração o fator econômico. Notou-se também, que à medida que as estruturas envelheciam surgiam as manifestações patológicas, prejudicando sua vida útil e durabilidade. Com isso, foi necessário o surgimento das Normas técnicas (NBR's), a fim de auxiliar na prevenção dessas manifestações patológicas. É válido mencionar, que uma das manifestações patológicas mais prejudiciais ao concreto armado é a corrosão de armaduras, a qual pode se manifestar de forma silenciosa por certo tempo. A corrosão de armaduras é ocasionada por agentes agressivos presentes no meio ambiente ou no interior do próprio concreto, sendo eles os íons cloreto e/ou o gás carbônico (CO₂). O risco do aparecimento da corrosão aumenta em locais mais agressivos: quanto mais próximo das áreas litorâneas ou das grandes cidades (com fluxo intenso de automóveis), maior será o risco de corrosão. Dependendo do estágio em que se encontra a manifestação patológica, pode-se ainda adotar medidas de recuperação. O concreto desempenha ainda, um papel bastante importante na prevenção pois, além de resistir aos esforços solicitados, ele funciona como uma barreira protetora, impedindo que os agentes agressivos atinjam as armaduras. A fim de que se tenha uma prevenção mais efetiva dessa manifestação patológica, é preciso realizar as manutenções periódicas previstas e preconizadas pelas normas.

Palavras-chave: Concreto Armado, Manifestações Patológicas, Íons Cloreto, Gás Carbônico, Carbonatação.

ABSTRACT

With the accelerated start of construction in the twentieth century, in Brazil, reinforced concrete gained prominence in construction, where it began to build in more slender forms, taking into account the economic factor. It was also noted that as the structures aged, pathological manifestations appeared, impairing their useful life and durability. With that, it was necessary the appearance of the Technical Norms (NBR's), in order to assist in the prevention of these pathological manifestations. It is worth mentioning that one of the pathological manifestations most harmful to reinforced concrete is the corrosion of reinforcement, which can manifest itself silently for a certain time. The corrosion of armatures is caused by aggressive agents present in the environment or inside the concrete itself, namely chloride ions and / or carbon dioxide (CO₂). The risk of the occurrence of corrosion increases in more aggressive locations: the closer to the coastal areas or large cities (with intense flow of automobiles), the greater the risk of corrosion. Depending on the stage of the pathological manifestation, recovery measures can still be adopted. Concrete also plays a very important role in prevention because, in addition to resisting the efforts required, it acts as a protective barrier, preventing aggressive agents from reaching the reinforcement. In order to have a more effective prevention of this pathological manifestation, it is necessary to carry out the periodic maintenance foreseen and recommended by the rules.

Key-words: Reinforced Concrete, Pathological Manifestations, Chloride Ions, Carbonic Gas, Carbonation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vida útil da estrutura de concreto armado	18
Figura 2 - Fissura em edificação	20
Figura 3- Eflorescência em edificações	21
Figura 4- Deslocamento de fachada	21
Figura 5- Rachaduras em edificações	22
Figura 6 - Infiltração do concreto	22
Figura 7 - Corrosão de armadura	23
Figura 8 - Ensaio não destrutivo por meio de medidor de umidade	24
Figura 9 - Ensaio não destrutivo: Pacometria	24
Figura 10 - Ensaio de esclerometria	25
Figura 11 - Ensaio de análise de carbonatação	25
Figura 12 - Ensaio de potencial de corrosão	26
Figura 13- Ensaio de termografia infravermelha	26
Figura 14 - Ensaio de ultrassom	27
Figura 15 - Corrosão uniforme	29
Figura 16 - Corrosão puniforme	30
Figura 17 - Corrosão transgranular	30
Figura 18 - Corrosão intergranular	31
Figura 19 - Representação da corrosão de íons cloreto	33

Figura 20 - Representação do avanço da frente de carbonatação	36
Figura 21 - Representação do tratamento da corrosão na armadura	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
CO ₂	Gás Carbônico ou Dióxido de Carbono.
C ₃ A	Aluminato Tricálcio.
C ₄ AF	Ferro Aluminato Tetracálcio.
DRX	Difração de raios-x.
NBR's	Normas Técnicas.
Ph	Potencial Hidrogeniônico.
VUP	Vida Útil do Projeto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 O Concreto Armado	14
2.2 Durabilidade e Vida Útil das Estruturas	15
2.3 Manifestações Patológicas em Estrutura de Concreto Armado	19
2.4 Corrosão de Armadura	27
2.4.1 Corrosão Localizada (Íons Cloreto)	32
2.4.2 Corrosão Generalizada	36
2.5 Medidas Recuperação da Armadura em Corrosão	38
3 METODOLOGIA	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, muitos casos de deterioração prematura, nas estruturas de concreto armado, vêm sendo registrados. Um dos que mais se destaca é a corrosão de armaduras, podendo ocorrer através de íons cloreto ou por uma frente de carbonatação.

Diante desses inúmeros casos de corrosão de armaduras nas estruturas, tem-se a problemática, que na maioria das vezes não é fácil, nem rápido justificar o seu motivo. A corrosão é um processo de natureza predominantemente eletroquímica, ocorrendo na presença de água, íons e oxigênio, podendo ser propagada mais rapidamente por motivos intrínsecos (espessura do revestimento, permeabilidade do concreto, resistividade elétrica, tipo de cimento, água, areia e brita utilizada) e extrínsecos (o meio onde a estrutura encontra-se inserida) (SILVA, 2006).

Há dois tipos de corrosão de armaduras: corrosão por carbonatação e corrosão por íons cloreto. A corrosão compromete a vida útil da armadura e do concreto, reduzindo-a, e afetando, conseqüentemente, a estrutura e a qualidade da edificação.

Existem três conseqüências importantes provocadas pela corrosão de armaduras, são elas: perda de seção transversal da armadura e redução de sua resistência mecânica; formação de óxidos e hidróxidos que incorporam moléculas de água em sua composição, gerando tendência à expansão, o que pode resultar em fissuras, e, em situações mais drásticas, deslocamento da camada do revestimento; perturbação na interface aço/concreto, provenientes do desgaste das camadas externas do aço e do acúmulo de óxidos, afetando a transferência de tensões entre eles (TORRES, 2011).

Dessa forma, essa pesquisa traz como objetivo compreender a corrosão das armaduras, trazendo suas causas, conseqüências e os métodos de proteção e recuperação das edificações acometidas por essa manifestação patológica, assim visando os fatores que contribuem para a corrosão da armadura na construção civil.

Buscando entender melhor esses fatores que venham a contribuir para o desenvolvimento da manifestação patológica que é a corrosão nas armaduras, nas peças de concreto armado, colocando assim duas hipóteses no qual a primeira seria por meio de agentes

agressivos tanto internos quanto externos presentes no meio ambiente e a segunda seria por problemas ocasionados no projeto ou na execução da construção civil.

O desenvolvimento desse trabalho se dá, pela necessidade da busca de solução para os problemas das corrosões de armaduras, já que com o passar dos anos a estrutura de concreto armado tende a envelhecer, onde se torna bastante comum o surgimento das manifestações patológicas, assim comprometendo a vida útil da estrutura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O Concreto Armado

O concreto ficou classificado como o um dos materiais mais utilizados no mundo, sempre está em evolução e apresenta uma boa durabilidade e desempenho. O concreto possui em sua composição água, cimento e agregados. Esse material, é bastante utilizado em vigas, pilares, lajes, sapatas, entre outros. A fim de que o concreto possuísse a resistência à tração, foi necessária a união desse elemento com o aço. Essa união, concreto mais aço, deu origem ao concreto armado.

Para entender melhor o concreto é necessário buscar suas origens e sua evolução, onde originou-se em Roma por volta de 2000 anos atrás. O concreto era uma mistura composta por areia grossa com cal, água e cascalho e, quando necessário, usava-se sangue de animais e as suas principais aplicações eram as construções de estradas. (PEDROSO, 2009).

A partir do ano de 1849, iniciou-se a utilização de tubos com aço, formando assim o concreto armado, criado por Joseph Monier, na Alemanha. Porém, só em 1867 que o concreto armado foi aceito suportando elevadas cargas e o sistema obteve a capacidade de ter resistência a tração e a compressão. (VASCONCELOS, 1985).

Com o início da idade moderna, o sistema concreto + aço passou a ter sua utilização difundida, ficando conhecido como o mais resistente. Com o passar dos anos, essa composição foi sofrendo modificações, evoluindo e se adaptando as necessidades da construção. (VASCONCELOS, 1985).

O concreto armado teve grande destaque por volta de século XX no Brasil, onde só era utilizado em construções específicas, como a execução de pontes e viadutos. Na metade do mesmo século, o concreto já se encontrava em todas as partes do país, onde ficou conhecido: como o mais apropriado para as circunstâncias do Brasil, por possuir um baixo custo e por apresentar uma boa segurança. (MEHTA e MONTEIRO, 2014)

Atualmente, no Brasil, o sistema encontra-se não somente em pontes e viadutos, como também em construções de barragens, paredes de contenção, em canais e até mesmo em pavimentos de aeroportos e rodoviários e entre outros.

Como para todo o material, o concreto armado possui vantagens e desvantagens, no qual as suas vantagens são a resistência a compressão, suportar a esforços de tração, possui baixo custo, uma boa resistência ao fogo e também ao tempo. Em suas desvantagens, pode-se citar a necessidade de fôrmas que podem ser fabricadas de madeiras ou chapas metálicas, possuindo alto custo no projeto. Outro ponto, é sua dificuldade de demolição, em que muitas vezes é necessário o uso de máquinas onerosas. Por fim, o concreto armado possui elevado peso próprio.

Para utilizar o concreto armado de maneira correta, foi necessário o surgimento de normas, as Normas técnicas (NBR's), produzidas através da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). As normas de grande destaque são: NBR 6120:2019 (Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento), NBR 6122:2019 (Projeto e execução de fundações), NBR 6123:2013 (Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento), NBR 7187:2003 (Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento), NBR 7191:1982 (Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado), NBR 7480:2007 (Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação), NBR 8681:2004 (Ações e segurança nas estruturas – Procedimento), NBR 9062:2017 (Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado), NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento) e entre outras.

2.2 Durabilidade e Vida Útil das Estruturas

O concreto armado possui propriedades importantes, dentre elas pode-se citar a sua durabilidade e a sua vida útil. De acordo com a norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013,

a Vida Útil do Projeto (VUP) mínima para estruturas de concreto deve ser igual ou superior a 50 anos. A durabilidade de uma edificação está relacionada com a qualidade dos materiais que foi utilizado na sua execução, devendo atender as condições solicitadas no seu projeto. Entretanto, isso não significa que a construção não venha a apresentar manifestações patológicas.

De acordo com a NBR 6118:2014, a durabilidade consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Nas construções mais antigas, não se possuía o conceito de durabilidade e vida útil, já que eram executadas de forma empírica, sem projetos e planejamento. Atualmente, esse fator de durabilidade é de suma importância, já que interfere tanto no financeiro quanto na segurança das pessoas que vão utilizar determinado empreendimento.

Segundo Neville (2013), entende-se que a durabilidade de uma construção está relacionada a atender às formas em que o edifício fica exposto ao ambiente, onde se tem os agentes agressivos presentes no local que será executada essa construção. De acordo com Mehta e Monteiro (2014) existem várias formas de conceito de durabilidade e vida útil, mas que o sentido sempre levará o mesmo.

Atualmente, a durabilidade e vida útil das estruturas é uma preocupação para engenharia, tanto que as normas utilizadas da construção civil sofreram atualizações. Uma dessas atualizações, foi a introdução do conceito de classe de agressividade presente na NBR 6118:2014. Essa classificação, permite estabelecer parâmetros para construção de edificações nas diferentes localidades, sendo classificadas como: fraca, moderada, forte e muito forte. A Classe I, considerada fraca, corresponde a locais onde o risco é mínimo, como por exemplo a zona rural ou submersa. Já a Classe II, possui risco moderado, podendo-se citar as zonas urbanas. Em locais onde o risco é forte, como áreas marinhas ou industriais, encontra-se a Classe III. Por fim, a Classe IV engloba as localidades industriais e áreas com respingos de maré, onde o risco de agressividade é considerado bastante elevado.

Dessa forma, o meio em que a estrutura se encontra influencia diretamente na durabilidade e vida útil das edificações. Assim, é preciso tomar os cuidados necessários para

evitar o surgimento das manifestações patológicas precocemente, como por exemplo, a corrosão de armaduras.

No Brasil, com o passar dos anos foi se desempenhando novas formas e métodos de construções, onde surgiram edificações mais esbeltas, trazendo economia no custo final do empreendimento. Entretanto, o cenário nacional ainda é carente de mão de obra qualificada e há falta de qualidade no produto final, promovendo uma redução em sua vida útil e durabilidade. Devido a isso, no ano de 2013 surgiu uma nova norma, a NBR 15575 que trata o desempenho de edificações habitacionais. Essa norma, visa algumas medidas de desempenho para atender os futuros usuários um ciclo mais longo de vida útil da construção, atendendo também as suas necessidades. Os seus requisitos estabelecidos são: Critérios de estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; funcionalidade e acessibilidade e entre outros.

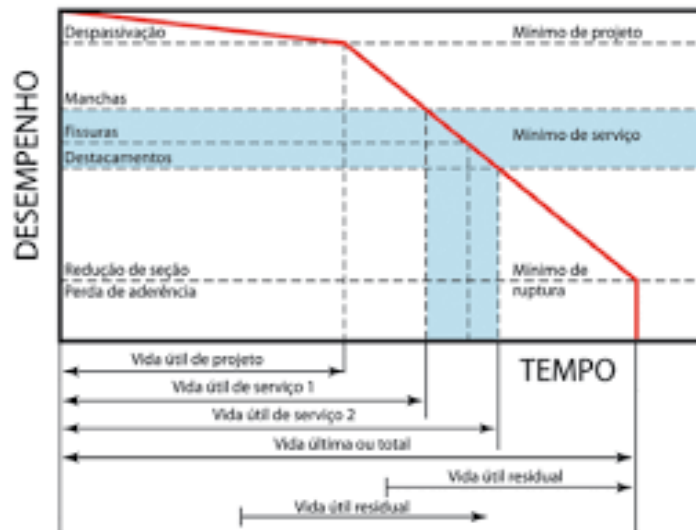
Um ano após o surgimento da NBR 15575 de Desempenho de Edificações Habitacionais, veio a atualização da NBR 6118 de Projeto de Estruturas de Concreto, onde há a preocupação no controle da qualidade da estrutura de concreto armado, evitando desperdícios desnecessários e surgimento precoce de manifestações patológicas.

A vida útil de uma estrutura de concreto armado é definida por vida útil de projeto, vida útil de serviço, vida útil última ou total e vida útil residual. De acordo com a norma 6118:2014 tem-se:

- Vida útil de projeto: Entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.
- Vida útil de serviço: É neste período em que se inicia os sintomas, tais como fissuras, manchas na superfície do concreto de cobrimento e deslocamento do concreto de cobrimento.
- Vida útil última ou total: É nesta fase em que a corrosão na armadura já se encontra em estágio mais avançado gerando assim a ruptura das estruturas.
- Vida útil residual: Após uma vistoria de manutenção do edifício é determinado por quanto tempo a estrutura ainda pode ter os desempenhos de suas funções que são estabelecidas.

Na Figura 1 a seguir, encontra-se o gráfico que representa a vida útil da estrutura de concreto armado.

Figura 1- Vida útil da estrutura de concreto armado.



Fonte: HELENE (1997)

De acordo com Helene (2001), para prolongar a vida útil de uma edificação, é preciso realizar todas as manutenções previstas, onde deverá existir uma documentação junto com o proprietário da obra, afirmando sua responsabilidade em realizar tais manutenções periódicas, evitando a presença precoce de manifestações patológicas.

Segundo Jerneberg (2004), a vida útil de uma estrutura está relacionada também com os valores e qualidades dos produtos, já que uma construção é considerada uma demanda de alta complexidade, onde são necessários utilizar materiais que possuam um bom desempenho. Os tipos de concreto também podem influenciar na durabilidade e na qualidade de uma edificação. É preciso utilizar a composição adequada para cada ambiente e solicitação estrutural, evitando o ataque de agentes agressivos.

Segundo Tuutti (1982), a vida útil de uma peça de concreto armado acometida pela manifestação patológica da corrosão de armadura, decompõe-se em duas partes, são elas:

- Iniciação: Essa é fase de início, onde a armadura entra em contato com íons cloreto e/ou com o CO₂, iniciando assim a sua corrosão, através da despassivação.
- Propagação: É marcada pelo surgimento dos sintomas. Pode-se citar o surgimento de manchas, fissuras, deslocamento do concreto, onde geralmente é ocasionado pelas altas temperaturas ou a umidade presente no local.

É válido mencionar que a durabilidade de uma estrutura de concreto armado, possui um conjunto de fatores conhecido como a regra dos 4C, que vão auxiliar na manutenção de uma maior durabilidade. Pode-se definir como regra dos 4C: Composição ou traço que é realizado o concreto; compactação ou adensamento; cura do concreto e cobrimento ou espessura que envolve as armaduras. (HELENE, 2001).

Assim, a vida útil deverá sempre ser avaliada de um ponto de vista global que abrange o projeto, a execução, os materiais, o uso, operação e a manutenção sob uma perspectiva de desempenho, qualidade e sustentabilidade (MEDEIROS, ANDRADE e HELENE, 2011).

2.3 Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado

De acordo com o dicionário Escolar da Língua Portuguesa (2008, p. 960), entre as definições da palavra “patologia”, é a parte da Medicina que estuda as doenças. Assim como os pacientes na Medicina, as edificações também podem apresentar “doenças”, como trincas, manchas, rupturas, corrosões, fissuras, entre outras (IANTAS, 2010).

As manifestações patológicas são bastante frequentes na área da construção civil, podendo apresentar vários sintomas similares, mas com causas diferentes. À medida que uma estrutura de concreto armado envelhece, torna-se mais comum o surgimento de manifestações patológicas (deteriorações que comprometem a vida útil da estrutura) (ADMATTI, 2016). Os imóveis nacionais possuem um alto nível de deterioração e isso ocorre, principalmente, pela ineficiência no controle dos processos executivos (HELENE e TERZIAN, 1993).

É fundamental saber o fator que desenvolveu determinada manifestação patológica, buscando assim uma solução adequada para o problema presente. Assim, é preciso analisar todos sintomas apresentados. Atualmente, muitas são as manifestações patológicas existentes

nas construções, pode-se citar fissuras (geométricas ou mapeadas), manchas desenvolvidas pela a umidade (por capilaridade ou por chuvas), eflorescência, que ocorre também pela presença de umidade e, por fim, a corrosão das armaduras, desenvolvida pelos ataques de íons cloreto e/ou carbonatação. Essa última manifestação é bastante frequente nas estruturas de concreto armado, afetando diretamente a durabilidade do projeto.

Algumas medidas devem ser utilizadas para prevenir as manifestações patológicas, são elas: realização de um projeto baseado nas normas, controle da qualidade dos materiais, executar a construção com mão de obra qualificada e sempre executar as manutenções adequadas. Já as causas mais comuns para o aparecimento dessas manifestações são: umidade no local, materiais inadequados ou com baixo desempenho, ações dos agentes agressivos do meio ambientes e entre outros. (IANTAS, 2010).

O aparecimento de uma manifestação patológica pode desencadear mais rápido o surgimento de outras. Assim, faz-se necessário um tratamento adequado, mais rápido e mais eficiente, evitando uma reação em cadeia na estrutura (HIRT, 2014).

Os tipos de manifestações patológicas mais comuns na construção civil são:

- Fissuras: manifestação patológica bastante frequente, podendo surgir após um ano ou até mesmo em meses de utilização do edifício, no qual facilita que os agentes agressivos possam penetrar pelos poros do concreto. Na Figura 2 abaixo, exemplifica-se um tipo de fissura.

Figura 2- Fissura em edificação.



Fonte: <<http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/qual-a-diferenca-entre-fissura-e-trinca/>> Acesso em: 10/11/2020.

- Eflorescência: Ocorre através da formação de depósitos salinos na superfície das alvenarias, concreto ou argamassas por meio de infiltrações (GRANATO, 2012).

Na Figura 3 abaixo, exemplifica-se um tipo de eflorescência.

Figura 3- Eflorescência em edificações.



Fonte:<<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/eflorescencia/>>Acesso em: 10/11/2020.

- Desplacimento de revestimentos: Ocorre nas fachadas das edificações, onde o revestimento cerâmico perde a sua aderência na argamassa, é uma manifestação que pode ocasionar acidentes, ferindo as pessoas que estiver transitando na rua no momento do deslocamento. Na Figura 4 a seguir, apresenta-se um tipo de deslocamento de fachada.

Figura 4- Desplacimento de fachada.



Fonte:<<http://www.remaster.eng.br/desplacamento-ceramico-destacamento-ou-descolamento-ceramico-principais-causas-parte-1-mao-de-obra/>>Acesso em: 10/11/2020.

- Rachaduras: Possuem dimensão superior as fissuras, devendo ser tratadas com uma atenção maior, pois podem comprometer a estabilidade das estruturas. Principais locais de surgimento: lajes, vigas e pilares. Na Figura 5 abaixo, pode-se verificar um tipo de rachadura em edificações.

Figura 5- Rachaduras em edificações.



Fonte: <<https://fibersals.com.br/blog/rachaduras-no-predio/>> Acesso em: 10/11/2020.

- Infiltração no concreto: Ocorre com frequência em áreas molhadas, como por exemplo, as lajes que ficam expostas ou quando o seu sistema de impermeabilização estiver danificado ou executado de forma errada. Nesses casos, a água permeia com facilidade e danifica a estrutura. Na Figura 6 abaixo, é possível verificar um tipo de infiltração no concreto.

Figura 6- Infiltração do concreto.



Fonte:<<https://www.novaimpercon.com.br/infiltracoes-em-trincas-e-fissuras-nova-impercon-resolve-com-injecao-de-poliuretano/>> Acesso em: 10/11/2020.

- Corrosão de armadura: Danifica as armações do concreto, desenvolvendo-se de forma rápida. Essa manifestação, dá-se por conta dos agentes agressivos como CO_2 e íons cloreto, danificando entre outras estruturas. Na Figura 7 abaixo, exemplifica-se corrosão de armadura.

Figura 7- Corrosão de armadura.



Fonte: <<https://www.tecnosilbr.com.br/corrosao-de-armadura-o-que-causa-e-como-amenizar-esse-dano/>> Acesso em: 10/11/2020.

Atualmente, existem alguns ensaios não destrutíveis, preconizados por norma, capazes de auxiliar no reconhecimento de determinada manifestação. Pode-se citar os ensaios de difração de raios-x (DRX), medidor de umidade, ensaio de pacometria, ensaio de esclerometria, ensaio de análise de carbonatação, ensaio de potência de corrosão, termografia infravermelha, ensaio de ultrassom e entre outros.

- Ensaio de difração de raio- x (DRX): Verifica as mudanças ocasionadas na difração dos raios que são emitidos nas amostras, tendo assim as fases cristalinas.
- Medidor de umidade: Tem a capacidade de identificar a quantidade de umidade presente na estrutura, em que o resultado encontrado é emitido através de porcentagem. Na Figura 8 a seguir, encontra-se um ensaio não destrutivo medidor de umidade.

Figura 8- Ensaios não destrutivos por meio de medidor de umidade.



Fonte:<<https://www.flir.com.br/news/professional-tools-news/flir-announces-two-bluetooth-enabled-moisture-meters-for-professionals/>> Acesso em: 10/11/2020

- Ensaio de pacometria: Esse procedimento é bastante utilizado para detectar, através das paredes de concreto, a sua espessura e onde se encontram suas armaduras. Na Figura 9 a seguir, encontra-se o ensaio de pacometria.

Figura 9- Ensaio não destrutivo: Pacometria.



Fonte:<<http://www.solucao.eng.br/novo/ensaios-nao-destrutivos-em-concreto.html>> Acesso em: 10/11/2020

- Ensaio de esclerometria: Em uma superfície de concreto armado são realizados alguns impactos com uma energia padrão onde é possível medir o reflexo da massa presente. Na Figura 10 a seguir, verifica-se a realização do ensaio de esclerometria.

Figura 10- Ensaio de esclerometria.



Fonte: <https://www.confed.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/civil/66_ad_eecapmdedeedt.pdf> Acesso em: 10/11/2020

- Ensaio de análise de carbonatação: Ensaio colorimétrico que tem o objetivo de identificar se a peça de concreto armado se encontra em corrosão através da carbonatação. Na Figura 11 abaixo, verifica-se o ensaio de análise de carbonatação.

Figura 11- Ensaio de análise de carbonatação.



Fonte: <<http://www.solucao.eng.br/novo/ensaios-nao-destrutivos-em-concreto.html>> Acesso em: 10/11/2020.

- Potencial de corrosão: Tem como objetivo estimar o grau de atividade de corrosão nas armaduras. Através de um equipamento adequado, realiza-se uma

análise eletroquímica através da aferição da diferença de potencial elétrico entre o aço da peça ensaiada e um eletrodo de referência, sendo que o último é capaz de manter seu potencial elétrico estável. Na Figura 12 a seguir, encontra-se a realização do ensaio de potencial de corrosão.

Figura 12- Ensaio de potencial de corrosão.



Fonte:<<https://ultralabengenharia.com.br/potencial-de-corrosao-das-armaduras>>
Acesso em: 10/11/2020.

- Termografia infravermelha: Possui o objetivo de detectar os defeitos no interior do concreto, através de uma averiguação de temperatura na peça, podendo ser encontrada a presença da corrosão na armadura, vazios e deslocamentos. Esse ensaio tem a capacidade de atender a grandes áreas. Na Figura 13 a seguir, encontra-se o ensaio de termografia infravermelha.

Figura 13- Ensaio de termografia infravermelha.



Fonte:<<http://www.solucao.eng.br/novo/ensaios-nao-destrutivos-em-concreto.html>>
Acesso em: 10/11/2020.

- Ensaio de ultrassom: baseia-se na propagação de ondas ultrassônicas na peça ensaiada entre dois transdutores (emissor e receptor), onde a velocidade de propagação viabiliza informações sobre algumas propriedades do concreto, como módulo de elasticidade e massa específica. Na Figura 14 a seguir, apresenta-se a realização de um ensaio de ultrassom.

Figura 14 - Ensaio de ultrassom.



Fonte:<<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/ensaios-nao-destrutivos-penetrar-concreto-a-dentro/>> Acesso em: 10/11/2020.

Para se entender melhor qual o tipo de manifestação patológica presente em determinado caso, é preciso levar em consideração as suas causas e modo de início, quais são os sintomas aparentes, o que está afetando na funcionalidade da edificação, para assim, determinar qual a manifestação patológica em questão.

Dessa forma, como a corrosão de armaduras é a manifestação patológica base do presente trabalho, será tratada em um capítulo à parte, de maneira mais detalhada.

2.4 Corrosão de Armaduras

A corrosão de armaduras é um dos fatores que contribui para redução da vida útil de uma estrutura de concreto armado, onde os agentes agressivos podem se encontrar no meio externo ou interno da edificação. Para Gentil (1996), a corrosão é o que vem a desgastar a estrutura que contém o metal, ocasionada predominantemente por natureza eletroquímica.

A corrosão em geral pode ser desenvolvida de modo eletroquímico, quando há presença de água. Existe também, a corrosão química por meio de agentes químicos e a corrosão eletrolítica quando se tem a aplicação externa de uma corrente elétrica, ou ainda por oxidação, em que o metal entra em processo de desgaste, ocasionado por uma falta de uma proteção, como uma pintura. Nas armaduras do concreto, a corrosão possui caráter predominantemente eletroquímico, ocorrendo quando o metal está em contato com um eletrólito (solução condutora iônica que envolve áreas anódicas e catódicas simultaneamente), formando uma pilha de corrosão.

Segundo Andrade (1992), a corrosão se divide em dois grupos, sendo eles corrosão generalizada e corrosão localizada. Onde o primeiro é ocasionado pela carbonatação e o segundo é desenvolvido por íons cloreto.

A corrosão de armaduras é considerada localizada quando se desenvolve na forma de pites (vários pontos ao longo da armadura), causada pelos íons cloreto. Ou seja, ela ocorre de maneira pontual ao longo da armadura, onde nesse local tem a sua despassivação, iniciando o desenvolvimento da corrosão. A corrosão de armaduras pode ser considerada ainda como generalizada, sendo desenvolvida pelo ataque de CO_2 . Esse tipo de corrosão comporta-se de maneira uniforme na estrutura de concreto armado, até atingir a armadura e despassivá-la.

Normalmente, a corrosão é desenvolvida em locais que possuem a presença de água, em estruturas com falhas na concretagem (ninhos) ou quando a estrutura não possui o cobrimento adequado das armaduras.

O concreto desempenha um papel importante, pois possui a função de atender as solicitações dos esforços, bem como, atua como barreira de proteção das armaduras, evitando que fiquem expostas aos agentes agressivos (NAKAMURA, 2011). Essa proteção é causada por sua alta alcalinidade e pela sua barreira física. Portanto, quando essa barreira está deteriorada, os agentes agressivos, como os íons cloreto e a carbonatação, podem penetrar na estrutura com maior facilidade, atingindo a armadura, despassivando-a e desencadeando a sua corrosão.

Segundo Liberati (2014), o concreto tem duas formas de proteger as armaduras: a proteção química e a proteção física.

- Proteção química: Ela ocorre devido ao Ph alcalino do concreto que forma uma película invisível envolvendo toda armadura da estrutura.
- Proteção física: É através do cobrimento do concreto que reveste as armaduras. Esse cobrimento, vai variar de acordo com o ambiente que será executada a obra, respeitando as preconizações da norma.

A corrosão de armaduras pode ser identificada por meio de manchas (surgem na superfície do concreto), por pequenas fissuras na sua fase inicial e, até mesmo, pelo deslocamento do concreto, indicando já estar em um estágio avançado. Contudo, quando identificada precocemente podem ser tratadas de forma mais efetiva.

Essa manifestação patológica é um dos principais problemas na construção civil, pois nesse processo, as estruturas perdem sua resistência aos esforços solicitados, atrapalhando também a estética do edifício e reduzindo seu fator de segurança, chegando até ao colapso da estrutura.

A corrosão altera as propriedades do metal envolvido (elasticidade, durabilidade e resistência), podendo desenvolver-se como: corrosão uniforme, corrosão puntiforme, corrosão transgranular, corrosão intragranular ou por fragilização pelo hidrogênio.

- Corrosão uniforme: Apresenta-se de forma igual na estrutura metálica, ocorre devido as ações ali presentes, onde gera a perda do metal de forma homogênea. Na Figura 15 a seguir, encontra-se um tipo de corrosão.

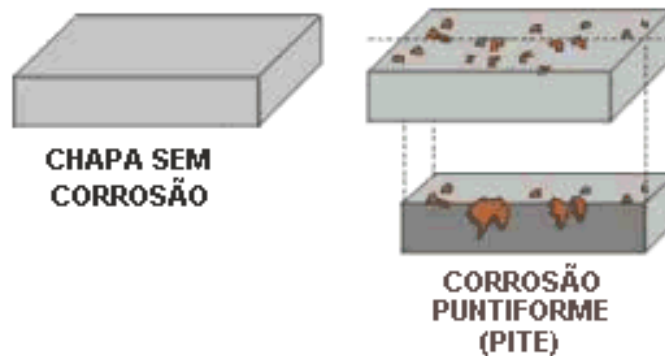
Figura 15 - Corrosão uniforme.



Fonte: CAVALCANTI (2010).

- Corrosão puntiforme: Vem em formas de pontos específicos com pequenas áreas na estrutura metálica, onde geralmente apresenta uma profundidade maior do que o ponto aparenta ter. Na Figura 16 abaixo, apresenta-se a representação da corrosão puntiforme.

Figura 16 – Corrosão puntiforme.



Fonte: <http://www.iope.com.br/3i_corrosao_2.php> Acesso em: 10/11/2020.

- Corrosão transgranular: Nessa corrosão a estrutura metálica perde as suas propriedades causando danos bem maiores já que interfere nos grãos cristalinos. Na Figura 17 a seguir, verifica-se a corrosão transgranular.

Figura 17 - Corrosão transgranular.



Transgranular

Fonte: <<https://slideplayer.com.br/slide/361681/>> Acesso em: 10/11/2020.

- Corrosão intragranular: Na estrutura, os grãos dos cristais afetam os vergalhões onde vem a prejudicar na estabilidade, pois é neles que se tem as tensões de tração. Na Figura 18, é possível visualizar a representação da corrosão intragranular.

Figura 18 - Corrosão intragranular.



Fonte: < <https://megaarquivo.wordpress.com/2012/08/page/7/> > Acesso em: 10/11/2020.

- Fragilização pelo hidrogênio: O hidrogênio atômico, quando afeta a superfície do metal, migra para o seu interior onde traz bastante prejuízos nas armaduras (fenômeno é considerado bem raro).

Para que se tenha o processo de corrosão, deve haver o rompimento da camada protetora das armaduras, causado pelos agentes agressivos na presença do oxigênio. A partir do contato, forma-se uma reação catódica e a água presente no concreto funciona como o eletrólito.

Os principais meios corrosivos que afetam as estruturas de concreto armado são: atmosfera, solos, água do mar, entre outros.

- Atmosfera: A atmosfera está cheia de gases poluentes, tem-se a emissão de CO₂ (Dióxido de carbono) dos automóveis, as indústrias com os seus gases poluentes e também a umidade presente no ar.
- Solo: No solo existem sais minerais e até mesmo bactérias, onde algumas possuem características ácidas, afetando as fundações dos edifícios.

- Água do mar: Para as edificações próximas do mar, há grande probabilidade do desenvolvimento da corrosão de forma acelerada, pois a maresia contém íons de cloreto.

A prevenção dessa manifestação patológica pode ocorrer de diversos modos, como: utilizar concreto de qualidade, o cobrimento adequado de acordo com o que foi solicitado no projeto estrutural, manutenções periódicas nas estruturas, a utilização de aditivos como bloqueadores de poros e entre outras formas.

2.4.1 Corrosão Localizada (Íons Cloreto)

A corrosão localizada ou também conhecida por corrosão por íons cloreto, é uma das manifestações patológicas mais severas para a construção civil. De acordo com Andrade (1997) e Neville (1997), a corrosão por íons de cloreto afeta a longevidade das estruturas de concreto armado, causando um dos mais perigosos problemas nas estruturas.

A corrosão por íons cloreto (localizada), é um processo de degradação típico em estruturas de concreto armado, expostas a íons agressivos, na presença de umidade e oxigênio (LIBERATI, 2014). A sua ocorrência, dá-se através da penetração desses íons nos poros do concreto, em conjunto com a água e o oxigênio, até atingir a armadura, despassivando-a (CARVALHO, 2014). Como consequência da corrosão, a vida útil da armadura e do concreto tende a ser reduzida, afetando conseqüentemente a estrutura e qualidade da edificação.

A corrosão se desenvolve de forma bastante acelerada e sua propagação age de forma também acelerada, onde afeta a estrutura de forma severa. Essa aceleração, dá-se devido a relação das áreas anódicas com as áreas catódicas. A corrosão localizada se apresenta de forma pontual nas armaduras.

Para Tavares (2006), a corrosão por íons cloreto ocorre principalmente nas áreas localizadas próximas ao mar, nas zonas de respingos de maré e nos locais próximos do litoral. Edificações presentes nessas localidades podem ter a vida útil reduzida de 20 a 30 anos, diferentemente dos edifícios distantes dessas áreas, onde a vida útil é entre 50 a 100 anos. (ARTEAGA, 2010).

Na Figura 19 a seguir encontra-se a representação da corrosão de armadura por íons cloreto.

Figura 19 - Representação da corrosão de íons cloreto.



Fonte: <<https://www.inbec.com.br/blog/inibidores-corrosao-tipos-principais-aplicacoes>>

Acesso em: 10/11/2020.

Segundo Poulsen e Mejlbro (2006), as zonas marítimas necessitam de uma atenção maior, pois as construções nessas áreas estão propícias a ações corrosivas mais agressivas. Dessa forma, dependendo da localidade da estrutura há uma diferença de agressividade, são elas: zonas de atmosfera marinha, zona de respingo e zona submersa:

- Zonas de atmosfera marinha: Fica próxima de uma área onde o concreto sofre ação do aerossol marinho, porém a estrutura não será atingida diretamente por respingos de água.
- Zonas de respingo: Essa é a área em que o concreto é atingido diretamente pelos respingos da água que vem do mar.
- Zona submersa: Fica a três metros abaixo do nível do mar ou de ondas.

Atualmente, existem duas formas de penetração dos íons cloreto no concreto, a primeira é pela contaminação interna, devido a utilização de materiais contaminados ou certos aditivos, como por exemplo aceleradores de pega e adensamento, e a segunda é pelo meio externo, quando a estrutura fica exposta a regiões agressivas.

Segundo Repette (1997), um dos fatores que contribui para que os íons cloreto penetre nas estruturas de concreto armado, é a qualidade dos materiais utilizados no seu traço e também o ambiente em que a edificação está inserida.

Silva (2006) afirma, para os locais que estão mais distantes das áreas de litoral, ainda existe a presença de íons cloreto, porém de forma inferior, sendo menos ofensivo para as armaduras.

Para Cascudo (1997), os fatores contribuintes para o transporte dos íons cloreto no interior do concreto são: permeabilidade, absorção capilar ou por meio de migração iônica. Quando não são por esses meios, podem ser por meio de difusão e absorção no concreto.

- Penetração por difusão: Na difusão ocorre a procura pelo equilíbrio, por meio da diferença de concentração de cloretos (entre o exterior e interior do concreto), promovendo o deslocamento dos íons. O interior do concreto tende a ser mais úmido, fazendo os íons migrarem em sua direção (TAVARES, 2006).
- Absorção capilar: quanto menor forem os poros do concreto, maior será a ação capilar, devido a ação da tensão superficial das substâncias líquidas contaminadas. Esse processo é otimizado pela afinidade dos poros do concreto com a água (TAVARES, 2006).
- Penetração de migração: parâmetro que se desenvolve por afinidade dos íons (carga negativa) a campos elétricos, como o processo de corrosão eletroquímico da armadura (TAVARES, 2006).
- Penetração por permeabilidade: deve ser levado em conta a qualidade e a dimensão dos poros, ou seja, esse parâmetro depende de maneira intrínseca da relação água/cimento utilizada na mistura do concreto (TAVARES, 2006).

De acordo com Liberat (2014), os íons cloreto apresentam-se no concreto de três formas: quimicamente combinados, fisicamente adsorvidos e livres na solução dos poros.

- Quimicamente combinados: É a dos íons cloreto com o C_3A (Aluminato tricálcico) ou com o C_4AF (Ferro aluminato tetracálcio), presentes no cimento. Quanto maior a quantidade de aluminatos no cimento, maior é a quantidade de fixação do cloreto.

- Fisicamente adsorvidos: É realizado por meio de aderência na superfície do concreto.
- Livres na solução dos poros: Esse tipo de cloreto é responsável por desencadear a corrosão de armaduras. Os Cloretos livres podem ser encontrados utilizando materiais contaminados no traço do próprio concreto.

De acordo com Helene (1993), em alguns países, segundo suas normas, existe um limite máximo de cloreto livre a ser aceito no concreto armado ou no concreto protendido. No Brasil as NBR's são: NBR 6118:2014, onde no concreto armado é aceito até 0,05% de cloretos livres, NBR 7197:1989 para o concreto protendido o limite é de 0,05%, e, por fim, a NBR 9062:2017 (concreto pré-moldado) também é permitido 0,05%. Todas essas NBR's possuem as porcentagens referentes a água de amassamento. Já em relação a massa de cimento, o máximo permitido é 0,4% no concreto armado e para o concreto protendido deve ser menor ou igual a 0,08%. (ANDRADE, 1997; HELENE, 1993).

Geralmente, em construções como estação de tratamento de esgoto, estruturas marítimas ou tanques industriais, os íons cloreto possui mais facilidade de penetrar nas estruturas de concreto armado. Para minimizar esse problema é preciso realizar um monitoramento eficaz na cura do concreto em questão.

Segundo Monteiro (2002), o teor de íons de cloreto pode ser classificado:

- Teor de íons de cloreto baixo;
- Teor de íons de cloreto médio;
- Teor de íons de cloreto elevado;

2.4.2 Corrosão Generalizada

A corrosão generalizada, ou também corrosão por carbonatação, é uma manifestação patológica que se desenvolve de forma uniforme em toda a superfície do concreto, desenvolvida pelo gás carbônico (CO₂) que são liberados na atmosfera e absorvido pelo concreto armado.

Corrosão por carbonatação (generalizada) é desenvolvida no concreto armado, através da redução da sua alcalinidade. Na presença de água, o dióxido de carbono (CO_2) existente na atmosfera, penetra os poros do concreto e reage com os produtos de hidratação do cimento. Esse processo origina produtos de menor alcalinidade, baixando o Ph do concreto e desencadeando o fenômeno conhecido como frente de carbonatação (COSTA, 2012). Essa frente avança gradativamente para a parte interna do material e, ao atingir a armadura, promove sua despassivação, dando início a um processo de corrosão generalizada.

Na Figura 20 a seguir, encontra-se a representação do avanço da corrosão na armadura.

Figura 20 - Representação do avanço da frente de carbonatação.



Fonte: BAZAN (2014).

Quando o cimento entra em contato com a água, produz um Ph de 12,5. Essa alta alcalinidade desenvolve uma película de proteção em volta da armadura, a qual denomina-se: película passivadora. Entretanto, quando o concreto entra em contato com o gás carbônico presente na atmosfera, o CO_2 reage com os produtos de hidratação do cimento e essa reação diminui o Ph do concreto para 9, essa frente de carbonatação avança até armadura e rompe a película passivadora, despassivando-a. A corrosão generalizada afeta a estrutura de concreto armado, podendo ser mais frequente nas grandes cidades, devido à grande movimentação de veículos que emitem o CO_2 .

De acordo com Casudo (1997), na carbonatação se tem um processo de frente de avanço, a qual se distingue entre duas zonas, a que o Ph é menor ou igual a 9,0, considerada como carbonatada e a outra zona com o Ph maior que 12,5 considerada como não carbonatada.

Para Helene (1993) e Figueiredo (1994), existem alguns fatores que favorecem o processo de carbonatação nas estruturas de concreto armado, são eles: Concentração de CO₂; umidade relativa do ambiente; a relação água/cimento; e tempo de cura.

- Concentração de CO₂: A carbonatação tende a se desenvolver em locais com uma alta concentração de CO₂, nas zonas rurais se tem uma presença de 0,03% de CO₂ e nas zonas urbanas a concentração é cerca 0,3%.
- Umidade relativa do ambiente: A presença de água nos poros do concreto, faz com que a carbonatação se desenvolva de forma rápida, onde a umidade do ar mais propicia para isso fica entre 60% a 80%.
- Relação água e cimento: Influencia nos diâmetros dos poros presentes no concreto, quanto menor a relação a/c, menor os poros, dificultando a penetração do CO₂ nas estruturas.
- Tempo de cura: Quando menor for o período de tempo de cura do concreto, maior será a porosidade do concreto e isso vai facilitar o processo de carbonatação.

O fator mais relevante no desenvolvimento da carbonatação é a umidade do ar. (BAUER,2008).

Para verificar o avanço carbonatação nas estruturas, é necessária a utilização de fenolftaleína ou timolftaleína (ensaio colorimétrico). Quando esses compostos entram em contato com o concreto, reagem na presença do CO₂, apresentando determinada coloração, que indica o Ph presente. Com a utilização de timolftaleína, para a cor azul o Ph correspondente é de 10,50, abaixo disso nenhuma coloração será apresentada. Quando utilizada a fenolftaleína a reação terá uma coloração avermelhada quando o Ph correspondente for maior ou igual a 9,5, para Ph menores nenhuma coloração será apresentada (FIGUEIREDO, 1994). Com a utilização de fenolftaleína e timolftaleína é possível medir o desenvolvimento da frente de carbonatação, onde esses produtos podem ser aplicados diretamente na estrutura.

Segundo Helene (1993), quando for realizado o ensaio para determinar a frente de carbonatação de uma peça de concreto armado, deve-se realizar o rompimento dessa peça na hora da realização do ensaio. Em seguida, é aplicada a fenolftaleína ou timolftaléina. Com isso, será identificado se a área está carbonatada ou não.

Segundo Cascudo (1997), a presença de CO₂ que está presente no ar é bem maior que na água, e no ar, essa presença é mais perigosa, pois facilita o acesso do dióxido de carbono na estrutura, devido a porosidade do concreto.

Quando a carbonatação se faz presente nas estruturas, surgem alguns sintomas, tais como: o surgimento de machas na superfície do concreto, fissuras e até mesmo, em casos mais avançados, trincas e deslocamento, devido à perda de aderência da armadura ao concreto. O desenvolvimento da corrosão vai depender do teor do concreto e do Ph.

Para Helene (1986), a carbonatação se desenvolve nas estruturas de concreto armado inicialmente de forma acelerada, depois tende a ser de forma mais lenta, sendo nesse período o momento da chegada da profundidade máxima na estrutura.

Para evitar o processo de corrosão por carbonatação é necessário um bom projeto, mão de obra qualificada no momento da concretagem das peças estruturais, deve-se realizar o adensamento do concreto, deve-se sempre hidratar o concreto durante o processo de cura, evitando que a água presente na massa evapore, deixando fissuras prematuras no concreto. Outra medida preventiva para o surgimento dessa manifestação patológica é: levar sempre em consideração os materiais utilizados no concreto armado, como o cimento, tipo do aço que será usado na estrutura e a realização de manutenções periódicas (CASCUDO,1997).

2.5 Medidas Recuperação da Armadura em Corrosão

Atualmente no Brasil, tem-se um grande índice de manifestações patológicas na construção civil, sendo a corrosão de armaduras um dos problemas mais frequentes. Com o surgimento dessa manifestação patológica na estrutura, é necessário identificar de forma rápida sua causa, a fim de que se possa realizar o tratamento mais adequado.

Com isso, é necessário adotar medidas para controlar a corrosão de armaduras, já que essa manifestação patológica interfere na estabilidade da estrutura e quando não tratada pode vir a entrar em colapso, trazendo assim, riscos para as pessoas que estiverem a utilizando.

Dependendo do grau que se encontra a corrosão em determinada peça de concreto armado, pode-se optar por algumas possibilidades de recuperação. Em casos mais avançados é necessário realizar a demolição.

De acordo com Andrade (1992), existem alguns inibidores de corrosão nas armaduras que atuam como uma barreira, que podem ser anódicos, catódicos e mistos.

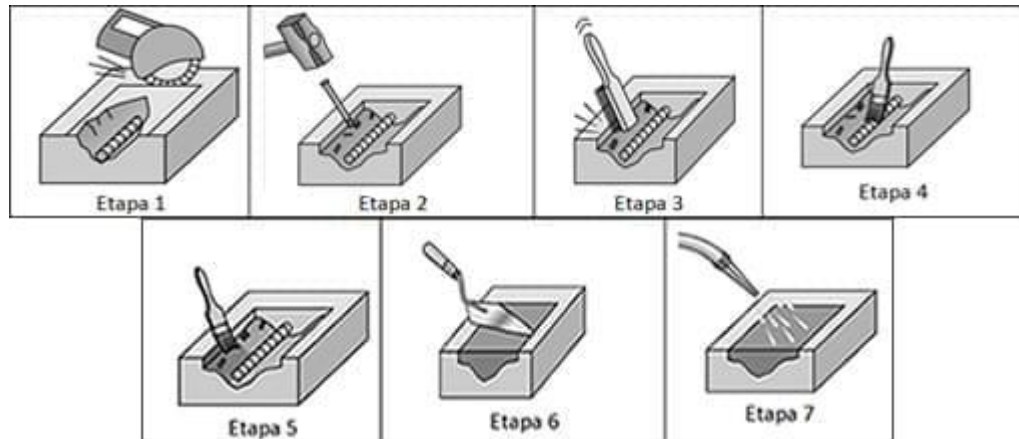
- Inibidores Anódicos: desenvolve uma reação química, onde impede a degradação do metal, presente no concreto, onde uma película protetora é produzida envolta da armadura.
- Inibidores catódicos: Também realiza uma reação química, onde modifica o Ph, desenvolvendo uma proteção na armadura, evitando assim a corrosão.
- Inibidores misto: Atua das duas formas, anódicas e catódicas, prevenindo e reduzindo o processo de corrosão como uma película impermeável.

Outra maneira de se evitar o avanço da corrosão de armaduras, é a realização de vistorias periódicas nas estruturas, a fim de identificar de forma rápida e precisa a presença de qualquer manifestação patológica. Identificando o problema, é possível avaliar sua a gravidade para uma melhor tomada de decisão. Nessa fase de identificação é comum a realização de ensaios.

O tratamento mais adequado, segundo Medeiros (2008), é aquele realizado por sete etapas. Na primeira etapa ocorre a identificação do local da corrosão na armadura. Em seguida, marca-se a área e realiza o corte com uma serra; na segunda etapa ocorre a remoção do concreto que está danificado e solto; na terceira etapa se realiza a limpeza de toda área (concreto+ aço) de modo manual, ou com uma escova de aço, ou com um jato de areia; na quarta etapa é o momento da pintura anticorrosiva da armadura, criando uma película protetora; na quinta etapa se realiza uma nova pintura como ponte de aderência; na sexta etapa se preenche o local com um material resistente, como o graute; por fim, na última etapa é realizada a cura úmida do material resistente.

Na Figura 21 a seguir encontra-se a representação do tratamento da corrosão de armaduras.

Figura 21 - Representação do tratamento da corrosão de armadura.



Fonte: < <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos/6412>> Acesso em: 10/11/2020.

Para qualquer tipo de corrosão de armaduras, seja ela causada por íons cloreto ou por dióxido de carbono, deverá ser tratada o mais rápido possível. Em casos mais extremos, é necessária a realização da solda de uma nova armadura, na armadura mais antiga. O novo concreto será aplicado na área afetada pela corrosão, deve possuir uma aderência adequada ao concreto existente, apresentando também uma boa impermeabilidade e uma boa durabilidade. É preciso que o novo concreto garanta esses requisitos, a fim de evitar a possibilidade de propagação da manifestação patológica para outras partes da peça de concreto armado.

Quando se realiza uma medida de recuperação em uma peça danificada, há um aumento da durabilidade, aproximando-se da que se tinha previamente ou da que foi especificada no projeto.

Quando há a descoberta da corrosão de armadura em sua fase inicial, as medidas de recuperação se tornam mais viáveis economicamente. Pois, a peça de concreto armado ainda não perdeu totalmente a sua resistência e seu desempenho que está sendo solicitado.

Para a realização da medida de recuperação, é necessário a presença de um engenheiro civil ou um especialista na área. Pois, é esse profissional quem deve passar as instruções necessárias como: a marcação da área que deve realizar a remoção do concreto fraco ou danificado, determinar o corte no concreto e o ângulo (reto), para que não se tenha grandes profundidades, especificar como deve ser feita a limpeza da área e na armadura, para assim aplicar o novo concreto.

3 METODOLOGIA

A pesquisa em questão possui caráter descritivo, proporcionando maior familiaridade com o problema. Boa parte das pesquisas envolvem: levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que possuem experiências práticas com problema pesquisado; e análise de exemplos que estimulem a compreensão. Segundo Gil (2007) essas pesquisas podem ser classificadas como: pesquisa bibliográfica e estudo de caso.

A metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho foi realizada através de revisões bibliográficas da temática em questão, com classificação qualitativa, baseada em leituras de livros, artigos científicos e as normas regulamentadoras, onde visou-se contemplar a corrosão de armaduras na construção civil.

Para o desenvolvimento da pesquisa ocorreu a divisão em quatro etapas, a fim de atingir o propósito da pesquisa. Na primeira etapa foram escolhidos o tema e título, na segunda se definiu o método da pesquisa, na terceira etapa o objetivo foi desenvolvido, e, por fim, na quarta etapa se realizou busca de autores e literaturas com importância na área.

A pesquisa considera que ações preventivas minimizam o surgimento da corrosão de armaduras nas edificações, reduzindo assim, os riscos às estruturas. A abordagem qualitativa do estudo, aprofunda na compreensão por ações registradas sobre a temática investida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o desenvolvimento da pesquisa, percebeu-se que as manifestações patológicas estão cada vez mais frequentes na construção civil, onde acarreta bastante problemas, afetando a vida útil e a durabilidade das estruturas.

A manifestação patológica mais comum e que desenvolve problemas graves nas estruturas é a corrosão de armaduras. Essa manifestação, atua diretamente na armadura comprometendo sua capacidade de resistência à tração, prejudicando toda a estabilidade da edificação. É de suma importância tratar dessa manifestação patológica na sua fase inicial, pois se torna mais fácil realizar o seu tratamento, evitando assim, que se espalhe por toda a peça de concreto armado e se torna economicamente mais viável.

O desenvolvimento da corrosão de armaduras pode ser por meio de íons cloreto, bastante frequente em áreas de litoral, e por meio de carbonatação, bastante frequente nas grandes cidades, devido a emissão de CO₂ na atmosfera.

A corrosão nas armaduras está vinculada a erros de execução do projeto, como também a qualidade dos materiais que são utilizados na produção do concreto e no ambiente onde será realizada a construção.

Algumas medidas preventivas que ajudam no combate da corrosão de armaduras são: utilização de materiais de qualidade, revestimento adequado para as peças de concreto (de acordo com o projeto), manutenções periódicas nas estruturas e também a utilização de aditivos como bloqueadores de poros do concreto.

Por fim, sabe-se que é possível evitar ou recuperar a corrosão de armaduras na construção civil, minimizando a possibilidade de acidentes com as pessoas que fazem uso de determinada edificação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização da presente pesquisa, desenvolveu-se por meio de uma revisão bibliográfica, em busca de entender melhor os fatores que ajudam no desenvolvimento da corrosão de armaduras na engenharia civil.

No ramo da construção civil, é bastante frequente e comum o desenvolvimento das manifestações patológicas. A corrosão de armadura é uma das manifestações mais agressivas, comprometendo a estabilidade e estética das estruturas.

Para iniciar a pesquisa, foi preciso entender os dois meios que a corrosão se desenvolve, o primeiro: através de agentes agressivos encontrados no meio ambiente em que se foi realizada a construção, e o segundo, erros de execução do projeto.

Com isso, verificou-se que existem duas formas de corrosão, a primeira por meio do ataque de íons cloreto e a segunda por meio de carbonatação. Todas as formas, tem potencial de produzir grandes danos para a estrutura, divergindo na maneira em que se desencadeia e a velocidade em que se vem a propagar. Verificou-se também, que nas áreas litorâneas é mais frequente a corrosão por íons cloreto e nas grandes cidades predomina a corrosão por carbonatação.

Atualmente, existem várias medidas que podem ajudar na prevenção dessa manifestação patológica, bem como, medidas para realização de recuperação estruturas das peças de concreto armado afetadas. Para a descoberta da corrosão de armaduras, existem alguns ensaios não destrutivos.

É sabido, que o concreto da edificação é um fator de suma importância para a proteção armadura contra a corrosão, protegendo-a fisicamente e quimicamente. Portanto, deve-se produzir o concreto de forma correta, atendendo aos períodos corretos de cura.

Dessa forma, conclui-se que a manifestação patológica em questão se tornou um dos principais problemas das estruturas, reduzindo sua durabilidade e a vida útil. Com isso, é preciso um bom planejamento e estudo antes da implementação de uma construção civil,

evitando erros futuros. A fim de garantir a longevidade da edificação, é preciso realizar rigorosamente as manutenções periódicas previstas.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014. 238p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019 (versão corrigida), 60p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações.** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019. 108p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações - Procedimento.** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013 (versão corrigida), 66p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento.** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003, 11p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7191: Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado.** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1982, 7p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7197: Projeto de estruturas de concreto – Protendido.** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989, 71p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação.** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007, 13p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento.** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004, 18p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017, 86p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais.** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013, 56p.

ADAMATTI, Deise Santos. **Análise da eficiência de espaçadores no concreto armado: Impacto da corrosão por íons cloreto em diferentes condições de exposição.** 2016. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ANDRADE, J. J. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco.** Porto Alegre-RS, 1997. 148 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ANDRADE, C. **Manual para diagnósticos de obras deterioradas por corrosão de armaduras.** São Paulo: PINI. 1992. 104p.

ARTEAGA, E.B. **Contribution for sustainable management of reinforced concrete structures subjected to chloride penetration.** 2010. 169f. Thèse de doctorat (Spécialité: Génie Civil) - UFR Sciences et Techniques, Université de Nantes, 2010.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008.

BAZAN, G.C.G. **Análise do cobrimento e carbonatação em obras de arte especiais no estado de São Paulo.** Trabalho de Conclusão de curso. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 2014, 151 p.

CARVALHO, Leonardo Gomes de Sá. **Resistência à corrosão dos aços ca-24 e ca-50 frente à ação dos cloretos.** 2014. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeções e técnicas eletroquímicas.** São Paulo: Pini; Goiânia: Editora UFG, 1997.

CAVALCANTI, A. N.; CAVALCANTI, G. A. D. **Inspeção técnica do píer de atracação de Tambaú.** Revista Concreto, n. 57, pg. 45-57, 2010.

COSTA, Valéria Conceição Mouro. **Influência da corrosão generalizada na aderência e comportamento estrutural de elementos de concreto armado.** 2012. 198 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

Dicionário Escolar da Língua Portuguesa. 2 ed. Jaguaré, São Paulo: Companhia Editora, 2008.

FIGUEIREDO, E. J. P. **Avaliação do desempenho de revestimentos para proteção de armadura contra corrosão através de técnicas eletroquímicas – contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado.** São Paulo, 1994. 391 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

GENTIL, V. **Corrosão.** 3ª Ed. Livro Técnicos e científicos. Rio de Janeiro, 1996. 345p.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GRANATO, José E. **Patologia das construções.** São Paulo: AEA Cursos, 2012.

HELENE, P.R.L. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo, SP: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** São Paulo, 1993. Tese (Livre Docente), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Civil.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: Pini, 1993.

HELENE, P.R.L. **Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto**. 1. Ed Instituto Mexican del Cemento y del concreto, A.C: IMCYC. 1997. 148P.

HELENE, P., (2001). **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto NB/2001**. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos.

HIRT, Bruno Francisco. **Manifestações patológicas em obras de escolas públicas estaduais do Paraná**. 2014. 48 f. Monografia (Especialização em Patologias das Construções) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

IANTA, Lauren Cristina. **Estudo de caso: Análise de Patologias Estruturais em Edificação de Gestão Pública**. 2010. 58 f. Monografia (Especialista em Construção de Obras Públicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

Jernberg, P.; Lacasse, M. A.; Haagenrud, S. E.; Sjöström, C. (2004) **Guide and bibliography to service life and durability research for building materials and components**. CIB Report. International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), Rotterdam, Netherlands.

LIBERATI, Elyson Andrew Pozo. **Modelo de confiabilidade aplicados à análise de estruturas de concreto armado submetidas à penetração de cloretos**. 2014. 143 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons**. 2008. 218p. Tese (Doutorado) - Escola Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma Meta-análise Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011. 37f.

MONTEIRO, Eliana Cristina Barreto. **Avaliação do método de extração eletroquímica de cloreto para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armadura**. 2002. 211f - Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

NAKAMURA, J. **Cobrimento de armaduras**. São Paulo: Equipe de obra. 45, dezembro de 2011.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista Concreto e Construções**. Ibracon. 53, p. 14- 19, jan/mar. 2009.

POULSEN, Ervin; MEJLBRO, **Leif. Diffusion of chloride in concrete: theory and application.** Londres e Nova York: Taylor & Francis, 2006. 442 p.

REPETTE, W. Modelo de previsão vida útil de revestimentos de proteção da superfície do concreto em meios de elevada agressividade. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997. 231p.

SILVA, Djalma Ribeiro. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria de sua durabilidade.** 2006. 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

TAVARES, Lisiane Morfeo. **Estudo do processo de corrosão por íons cloreto no concreto armado utilizando armaduras comuns e galvanizadas.** 2006. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Tecnologia de Materiais, Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

TORRES, Ariela Silva. **Corrosão por cloretos em estrutura de concreto armado: uma meta-análise.** 2011. 186 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

TUUTTI, K. **Corrosion Steel in Concrete.** Stockolm: Swedisk Cement and Concrete Research Institute, 1982.

VASCONCELOS, AGUSTO CARLOS. O concreto no Brasil: recordes, realizações históricas, história. São Paulo: Copiare, 1985. V .1.