



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ANÁBIA VITÓRIA FERNANDES

**ANÁLISE E ESTUDO DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO – ESTUDO DE CASO**

PAU DOS FERROS - RN
2019

ANÁBIA VITÓRIA FERNANDES

**ANÁLISE E ESTUDO DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Pau dos Ferros, como
requisito para obtenção do título de
Bacharel Ciência e Tecnologia.

Orientador (a): Prof^a Dra. Josy Eliziane
Torres Ramos

PAU DOS FERROS
2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F345a Fernandes, Anália Vitória .
Análise e estudo da corrosão em estruturas de
concreto armado - estudo de caso / Anália Vitória
Fernandes. - 2019.
54 f. : il.

Orientadora: Josy Eliziane Torres Ramos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2019.

1. Corrosão. 2. Concreto armado. 3.
Manifestações patológicas. 4. Triângulo da corrosão.
5. Inspeção. I. Ramos, Josy Eliziane Torres ,
orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da Instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANÁBIA VITÓRIA FERNANDES

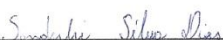
**ANÁLISE E ESTUDO DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO – ESTUDO DE CASO**

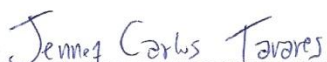
Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFRSA,
Campus Pau dos Ferros, como
requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 09/07/2019.

BANCA EXAMINADORA


Profª Dra. Josy Eliziane Torres Ramos


Profª Dra. Sanderlir Silva Dias


Prof. Jennef Carlos Tavares

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos

Agradeço a Deus que nunca me abandonou, pela força, determinação e refúgio, mesmo quando tudo parecia perdido, me proporcionando momentos esquecíveis e por me permitir realizar sonhos que pareciam improváveis.

À Prof^a Dra. Josy Eliziane Torres Ramos, por acreditar em mim, pela paciência, pelo tempo designado a este trabalho, mesmo com seus tantos afazeres, pelos seus ensinamentos e por ser essa mulher/profissional que tanto admiro;

À Prof^a Dra. Sanderlir Silva Dias, pelos seus ensinamentos que contribuíram para minha chegada até aqui e por aceitar contribuir com esse trabalho;

Ao Prof. Jennef Carlos Tavares, por aceitar contribuir com esse trabalho;

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido, que me proporciona a realização desse sonho, ser bacharel em ciência e tecnologia, além das inúmeras lições que levarei para vida profissional e pessoal;

A todos os professores da UFRSA, que no decorrer dessa caminhada contribuíram para minha formação;

Ao Prof. Dr. Otávio Paulino Lavor por todo apoio e ensinamento, que sem dúvida levarei comigo. Por me mostrar que tudo nessa vida é questão de prioridade e sempre posso ir além;

Ao Bel. Francisco de Assis Chaves (Deassis), que esteve comigo desde o início da minha vida acadêmica e contribuiu de forma íntegra para este trabalho. Assim como o Bel. Alexandro da Silva (Neguim) que me apoiou até os últimos minutos desse lindo projeto. Aos meus queridos amigos, meu muito obrigado.

A minha família em geral, que sonharam com esse momento juntamente comigo. Aos meus pais e irmão, que mesmo diante de tantas dificuldades sempre me deram motivos para continuar e acreditaram em mim, a eles dedico este trabalho.

Aos amigos de caminhada, Monaliza Soares, Nyanne Maia, Naiara Silva, Gizele Gonçalves, Heloisa Andrade, Gerlania cajueiro, Mateus Jardel, Marcos Vinícius, Giovanna Vieira e tantas outras pessoas que fizeram parte desta caminhada. Que Deus abençoe grandemente vocês.

À Prefeitura Municipal de São Miguel e Coronel João Pessoa por proporcionar a mim e a todos os meus colegas o meio de locomoção, que nos permite frequentar as aulas no campus de Pau dos Ferros;

À todos os meus sinceros agradecimentos.

“Para evitar a corrosão do conhecimento, permita-se aprender com segurança”.
(Otávio Paulino Lavor)

RESUMO

A corrosão em armadura de concreto armado refere-se à ocorrência da perda ou queda em algum fator relacionado à estrutura. Na grande maioria dos casos está relacionada com o desempenho de um produto ou componente estrutural. O presente trabalho trata da análise e estudo dessas manifestações em um edifício residencial de uso social, localizado no município de São Miguel – RN. É composto por uma revisão bibliográfica, além de um levantamento de dados por uso da fotografia, onde ocorreu a identificação da situação, com o objetivo de verificar possíveis causas, reconhecer a forma e o tipo de corrosão, em seguida, diagnosticar uma forma de prevenção e recuperação como meio de solução, com o auxílio do triângulo de corrosão. Compreende-se, por intermédio desta pesquisa, que as manifestações patológicas são decorrentes da falta de vistoria e manutenção e, desta forma, para ter uma maior durabilidade das edificações é necessário o constante cumprimento de inspeção/manutenção, permitindo a efetivação da vida útil prevista e evitando, dessa forma, o colapso de toda estrutura, como no ocorrido trabalho.

Palavras-chave: Corrosão. Estrutura. Manifestações patológicas. Inspeção. Triângulo da corrosão.

ABSTRACT

The corrosion in reinforced concrete reinforcement, refers to the some factors of loss or decline occurrence in related to the structure. In majority of cases is related to the performance of a product or structural component. The present study deals with the analysis and study of these demonstrations in a residential social use building, located in São Miguel-RN city. Consists of a literature review and a survey of photography datas, which situation identification, in order to check possible causes, recognize type and corrosion forms, subsequently, diagnoses a form of prevention and recovery as a solution, with the help of triangle of corrosion. We understand through this research, that manifestation pathologicals result from the lack of inspection and maintenance, this way, to have greater durability of buildings is necessary a constant fulfillment of inspection/maintenance, permitting the completion of the intended service life and, avoiding, this way, the collapse of every structure, such as in this study.

Keywords: Corrosion. Structure. Pathological manifestations. Inspection. Triangle of corrosion.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral.....	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	Corrosão	18
3.2	Importância.....	18
3.3	Tipos.....	19
3.3.1	Química	19
3.3.2	Eletroquímica.....	20
3.3.3	Eletrolítica.....	22
3.4	Formas	22
3.4.1	Uniforme	23
3.4.2	Por placas.....	23
3.4.3	Alveolar.....	24
3.4.4	Por pite	24
3.4.5	Intergranular	25
3.4.6	Filiforme	26
3.4.7	Por esfoliação	26
3.4.8	Empolamento de hidrogênio	27
3.5	Corrosão no concreto Armado	28
3.5.1	O Concreto	28
3.5.2	Corrosão na estrutura.....	29
3.5.3	Processos de Corrosão no Concreto armado.....	31
3.5.4	Carbonatação	32
3.5.5	Lixiviação	34
3.5.6	Disgregação e desagregação	35
3.6	Métodos de Proteção	35
3.6.1	Inibidores corrosivos.....	36
3.6.2	Proteção anódica.....	36
3.6.3	Proteção catódica	37
3.6.4	Revestimento.....	37
4	CARACTERÍSTICAS DO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL	38
5	MATERIAIS E METODOLOGIA	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42

6.1	Análise da estrutura.....	42
6.2	Triângulo da corrosão	46
6.3	Solução para o problema estudado.....	47
7	CONCLUSÃO.....	49
7.1	Propostas para trabalhos posteriores.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Corrosão química em concreto armado – mureta.	20
Figura 2: Pilha de corrosão eletroquímica com elementos diferentes.	21
Figura 3: Corrosão eletrolítica em gerada por corrente de fuga.	22
Figura 4: Corrosão uniforme em engrenagens.	23
Figura 5: Corrosão por placas em chapa de aço carbono de costado de tanque.	24
Figura 6: Corrosão alveolar.	24
Figura 7: Corrosão por pite em tubo de aço inoxidável.	25
Figura 8: Corrosão Intergranular.	25
Figura 9: Corrosão na superfície de alumínio sob revestimento orgânico.	26
Figura 10: Esfoliação em peça metálica.	27
Figura 11: Chapa de aço-carbono com empolamento de hidrogênio.	27
Figura 12: Seção polida de um corpo-de-prova de concreto.	28
Figura 13: Diagrama de Pourbaix para o sistema Ferro-Água a 25°.	30
Figura 14: Corrosão por erosão, com desgaste superficial, em galeria de água.	31
Figura 15: Tratamento da corrosão no concreto.	32
Figura 16: Evolução da frente de Carbonatação.	33
Figura 17: manifestação patológica da lixiviação.	34
Figura 18: Disgregação em concreto armado.	35
Figura 19: Representação esquemática de tintas.	37
Figura 20: Localização geográfica da cidade de São Miguel - RN.	39
Figura 21: Organograma da Pesquisa.	41
Figura 22: Relação entre o pH e a taxa de corrosão do ferro.	42
Figura 23: Fissuras no concreto.	43
Figura 24: Armadura de concreto armado em estado de deterioração.	44
Figura 25: Estado anterior ao revestimento, 30 dia antes.	45
Figura 26: Aplicação do revestimento após 30 dias.	45
Figura 27: Desabamento de estrutura de concreto armado, após 60 dias.	46
Figura 28: Desabamento de estrutura de concreto armado, após 60 dias.	46
Figura 29: Triângulo da corrosão.	47

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Diferença de potencial.....	21
Equação 2: Formação da Carbonatação.....	33
Equação 3: Reação de oxidação do ferro	42
Equação 4: Reação de redução do ar atmosférico	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGALVA	Associação Brasileira de Galvanização
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACO	Associação Brasileira de Corrosão
Apud	Citado por
CREA/SE	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Sergipe
Et al	Colaboradores
Fem	Força eletromotriz
NBR	Norma Técnica
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
RN	Rio Grande do Norte
DDP	Diferença de potencial
CONPLEQ	Consultoria e Planejamento em Engenharia Química

LISTA DE SÍMBOLOS

Kg/m^3	Quilograma por metro cúbico
%	Porcentagem
CO_2	Gás carbônico
$CaCO_3$	Carbonato de cálcio
$Ca(OH)_2$	Hidróxido de cálcio
Fe	Ferro
H_2O	Água
KOH	Hidróxido de potássio
O_2	Oxigênio
Zn	Zinco
H_2CO_3	Ácido carbônico
e^-	Elétron

1 INTRODUÇÃO

A corrosão consiste na degradação de um material, ocorrendo por meio de variações químicas ou modificações na sua estrutura. Este processo espontâneo, em muitos casos torna a estrutura inadequada para uso (GENTIL, 2011).

Agente causador de interferência na eficiência do material, a corrosão, se refere a um fenômeno que tem acarretado preocupações e devido os prejuízos advindos, o estudo de suas causas e soluções tem se tornado significativo. Desse modo, para alcançar o seu combate, devem ser observadas as suas diferentes formas, oriundas da sua morfologia, causa ou mecanismo, como dos fatores mecânicos e o meio envolvido. Ao identificar corretamente o seu tipo, é possível fazer uso de técnicas adequadas para proteger o material da deterioração, como a utilização da pintura (GENTIL, 2011).

Por mais que os investimentos em novas tecnologias tenham aumentado, desde as primeiras civilizações até os dias atuais, ainda existem limitações e falhas que ocasionam o desempenho ineficaz das estruturas. Esse fato proporciona a formação de manifestações patológicas, que podem ser observadas por meio da perda estrutural ou pela falha na sua atuação, ocorrendo de maneira total ou apenas em algumas áreas do material (FONSECA, 2012).

A corrosão em armaduras se refere desse modo, a uma das manifestações mais facilmente encontrada nas estruturas. Relativamente esse fenômeno diz respeito a uma das patologias mais críticas, afirma Alves, *et al* (2012), visto que compromete a estabilidade e durabilidade de toda a estrutura.

No ramo da construção civil, a agilidade na execução e o emprego de tecnologias mais atuais são de fundamental importância para possibilitar que o mercado se torne mais competitivo, como também a formação de novos empreendimentos. A rapidez deste desempenho ocasiona a necessidade de expandir o conhecimento acerca das estruturas e dos materiais, com a finalidade de obter o avanço das construções (MARTINS, *et al.* 2016).

Com intuito de estudar a corrosão nas estruturas de concreto armado, por meio da observação de sua infraestrutura, seja ela de residências, prédios públicos ou privados, é possível constatar a existência de inúmeras estruturas deterioradas. Estes casos comumente são decorrentes da escolha de uma estrutura de baixo custo, onde é deixada de lado a proteção adequada, como

também pode decorrer devido à falta de domínio da área por parte do profissional a frente da obra (MARQUES, 2015).

Devido à recuperação das estruturas possuírem um custo elevado, estudos apontam que se os recursos utilizados na recuperação estrutural fossem empregados em medidas de prevenção oriundas de um conhecimento abrangente, ocorreria uma redução significativa dos valores ao longo da durabilidade de vida da estrutural (ROCHA, 2015).

Diante a proposta exposta o presente trabalho busca realizar a análise e estudo de uma estrutura de concreto armado, localizada no município de São Miguel – RN, quanto ao seu estado de corrosão, bem como identificar maneiras adequadas de evitar a deterioração estrutural, buscando de tal forma, encontrar maneiras de prolongar a vida útil da estrutura.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudo da corrosão em armaduras no concreto armado, presente na sede de uma organização comunitária, privada, sem fins lucrativos, no município de São Miguel – RN, o estudo tem como foco principal o muro frontal e a laje da entrada, detectando as possíveis causas, reconhecendo a forma e o tipo de corrosão na problemática e diagnosticando uma forma de prevenção e recuperação a ser adotada, como solução desse estudo.

2.2 Objetivos específicos

- Compreender o fenômeno da corrosão e suas causas, através da literatura;
- Identificar o tipo de corrosão, bem como a forma e as reações químicas envolvidas no processo corrosivo;
- Construir o triângulo de corrosão, evidenciando cada parâmetro do mesmo;
- Compreender as técnicas e dispositivos de proteção;
- Apresentar soluções de proteção, através do conhecimento teórico, que melhor resolveria o problema do estudo de caso.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Corrosão

A corrosão pode ser entendida, como a deterioração de um material, geralmente metálico, por atividade química ou eletroquímica do ambiente, associada a esforços mecânicos ou não. Essa decomposição, causada pela interação físico-química entre o material e seu meio operacional, retrata modificações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, que o tornam inadequado para o uso (GENTIL, 2011).

3.2 Importância

Comumente, pensada como um fenômeno exclusivo de materiais metálicos, a corrosão é associada, por vezes, a ferrugem, camada de cor marrom-avermelhada formada em consequência da oxidação do ferro em materiais que possuem esse elemento em sua composição. Todavia, esse termo não se refere apenas a superfícies metálicas, havendo outros diversos tipos de materiais suscetíveis à deterioração, como por exemplo, o concreto (GENTIL, 2011).

Em relação ao aspecto econômico, estudos mostram que são empregadas grandes quantias em dinheiro para reparar elementos afetados, como também na prevenção, essa última corresponde a uma ação de mitigação que, quando bem efetuada, pode evitar maiores perdas. Uma estimativa acerca do produto interno bruto (PIB) é que o mesmo corresponde a 2,8% de investimento causado pela corrosão, a nível mundial, superando 150 países do mundo (ABRACO, 2016).

Foi estimado que aproximadamente 5% das receitas de uma nação industrializada sejam gastos na prevenção da corrosão e na manutenção ou substituição de produtos perdidos ou contaminados como resultado de reações de corrosão (CALLISTER, 2012, p. 574).

Segundo a Associação Brasileira de Galvanização, o PIB em 2013 resultava em 4,8 trilhões, sendo 4% destinado ao gasto com a corrosão, resultando em 194 milhões de reais (ABGALVA, 2017). As decorrências da corrosão acontecem nas mais diversas áreas, como na odontologia, na construção civil, na indústria, em obras de artes e esculturas, entre outras. Essas consideráveis perdas econômicas podem ser classificadas em diretas, referentes aos custos com inibição, a perdas ou reparos de peças, como também perdas

indiretas, referentes às perdas que não se pode quantificar, no entanto trazem prejuízos (GENTIL, 2011).

Em 2016, no estado de Sergipe, uma peça metálica de 208 quilos que faria parte da torre de divulgação do Shopping Jardins, despencou de uma altura de 20 metros. O acidente, segundo perícia criminal, ocasionado devido à corrosão e a oxidação nas peças metálicas provocou a morte de uma vítima, deixando outra ferida. No entanto, após um mês a divulgação do laudo técnico, pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Sergipe (CREA/SE), iniciou-se a desmontagem da torre. O engenheiro responsável, afirmou que os pontos de solda não tiveram tratamento adequado e que a última análise da estrutura, realizada há quatro anos, anterior ao acontecimento, já apresentava necessidade de uma manutenção e, a mesma não foi realizada (G1/SE, 2016).

Em 2018, a corrosão foi à causa do acidente no terminal Madre de Deus, no estado da Bahia, que teria passado por manutenção em 2017. Segundo o perito criminal do caso, a corrosão foi identificada nos grampos de ferro que sustentavam toda passarela que possibilitava o acesso aos píeres e as pontes que levavam às embarcações, mas fortemente umas das extremidades da ponta. A oxidação dos grampos ocasionou o desmoronamento da estrutura. Apesar de haver quase 100 pessoas presente na mesma, algumas caíram na água e, felizmente, foram socorridas, nenhuma vítima veio a óbito. Foi evidenciado outro acidente no mesmo local antes da reforma que foi realizada em 2013 (A TARDE, 2018).

3.3 Tipos

Sendo utilizada para designar processos onde as perdas possuem a possibilidade de ocorrer totalmente, parcialmente e superficialmente, por ataques químicos, eletrólitos ou eletroquímicos, a corrosão pode ser categorizada em três tipos: química, eletroquímica e eletrolítica (GENTIL, 2011).

3.3.1 Química

Este processo não exige necessariamente a presença de água. Trata-se de um tipo suscetível quando um agente químico age diretamente sobre o material, sem necessitar da transferência de elétrons de uma área para outra (MERÇON, *et al.* 2004). Um exemplo se encontra na degradação do concreto, notada em

pontes, construções e viadutos, esse tipo ocorre por ações de agente na sua própria formação (areia, cimento e agregados), habitualmente afetando a estabilidade e a durabilidade das estruturas de forma rápida. Dentre os muitos fatores que são responsáveis por ocasionar esses processos, temos os fatores físicos, como a variação de temperatura, biológicos, como as bactérias, mecânicos, como as vibrações e químicos, como os sais (GENTIL, 2011). A Figura 1 retrata como a corrosão do tipo química, comumente encontrada.

Figura 1: Corrosão química em concreto armado – mureta.



Fonte: MERÇON, *et al.* 2004.

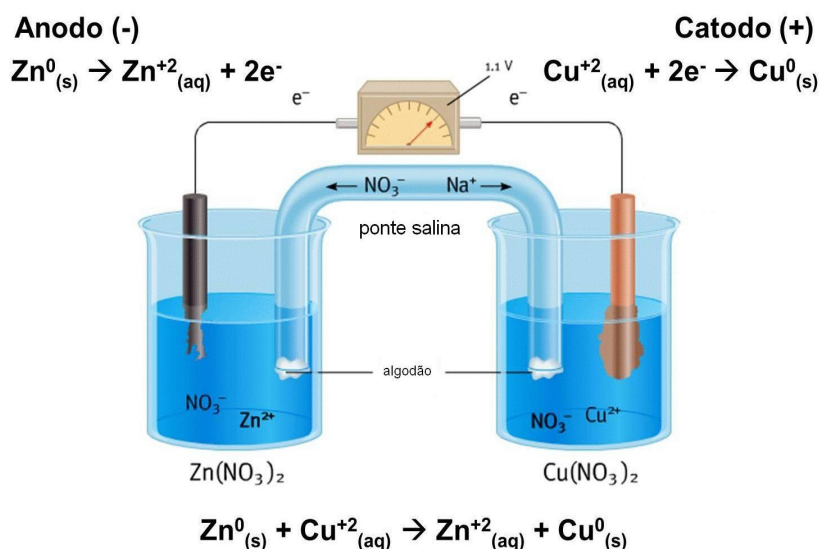
3.3.2 Eletroquímica

Procedimento espontâneo, ocorrendo com facilidade quando o metal se encontra em contato com um meio eletrolítico, o que possibilita a formação das reações anódicas e catódicas, reações essas que permitem o ganho (cátodo) e a perda (ânodo) de elétrons (MERÇON, *et al.* 2004). Essas reações de oxirredução possuem como objetivo alcançar o equilíbrio. Por esse motivo, são chamadas de reações simultâneas. Os metais que doam elétrons são os que possuem maiores potenciais de oxidação, por esse motivo oxidam mais facilmente (GENTIL, 2011).

As reações redox são extraordinariamente versáteis. Muitas reações comuns, como a combustão, a corrosão, a fotossíntese, o metabolismo dos alimentos e a extração de metais de minério, parecem completamente diferentes, mas ao examinarmos essas reações a nível molecular, sob a óptica de um químico, pode-se ver que elas são exemplos de um único tipo de processo (ATKINS, *et al.* 2012, p.77).

A corrosão eletroquímica se caracteriza por ocorrer na presença de água. Comumente, se manifesta na natureza, na maioria das vezes ocorre em temperatura ambiente e com a formação de uma pilha. É notada a sua ocorrência quando inserimos dois metais diferentes, ligados, em um eletrólito. O eletrólito trata-se de uma solução condutora ou de um condutor iônico que envolve as reações de oxirredução (MERÇON, *et al.* 2004). A Figura 2 apresenta uma esquematização de uma pilha galvânica, onde o desgaste ocorre no Zn, na parte anódica. A ponte salina serve para permitir a migração dos íons entre as soluções.

Figura 2: Pilha de corrosão eletroquímica com elementos diferentes.



Fonte: PIBID (2012).

Por meio da análise da Tabela de potenciais padrão de redução, é possível definir se as reações são espontâneas ou forçadas (BROWN, *et al.* 2009). A diferença de potencial (ddp) gerada pelas semi-reações é:

Equação 1: Diferença de potencial

$$\Delta E^0 = (E^0_{red\ catodo}) - (E^0_{red\ anodo})$$

$$\Delta E^0 = (+ 0,34\ V) - (-0,76\ V)$$

$$\Delta E^0 = 1,1\ V$$

Caso o valor da diferença de potencial (ddp) seja positivo, indica uma reação espontânea. No entanto, caso o valor seja negativo se trata de uma reação não espontânea, caracterizando a uma pilha. Quando o metal e o eletrólito atingem o equilíbrio, a diferença de potencial define-se como potencial de

equilíbrio. Segundo Cascudo (1997): “[...] é o potencial que se estabelece como resultado do equilíbrio entre duas tendências: a dos átomos metálicos de deixarem o metal e passarem à solução, ionizando-se e hidratando-se e a dos cátions de depositarem-se sobre o metal”.

3.3.3 Eletrolítica

Apresenta um processo eletroquímico, decorrente da aplicação de uma corrente elétrica externa, desenvolvendo uma corrosão não espontânea. Manifesta-se por correntes de fuga, devido à ineficiência de isolamento, ocorrendo com frequência em tubulações, cabos enterrados e em tanques de gasolina. Essas correntes são resultantes das deficiências dos isolamentos ou dos aterramentos, causando furos, possibilitando o escape da corrente (MERÇON, *et al.* 2004). Na Figura 3 é possível observar a corrosão eletrolítica, em dutos subterrâneos.

Figura 3: Corrosão eletrolítica em gerada por corrente de fuga.



Fonte: Dutos no Brasil (2016).

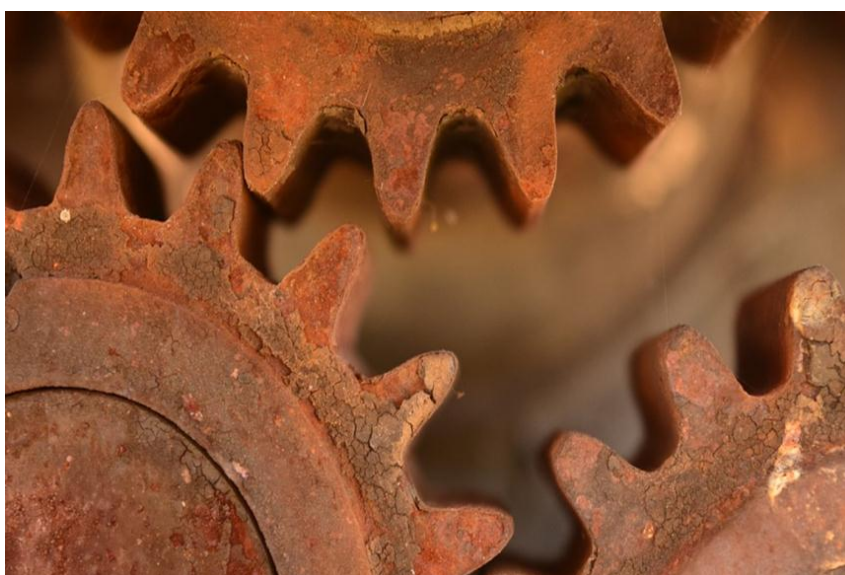
3.4 Formas

O conhecimento acerca dos processos corrosivos possui grande importância para prevenir problemas que futuramente possam acontecer. Desse modo, apesar das inúmeras tentativas de identificação, é fundamental conhecer as suas formas de manifestação (PANNONI, 2015). A seguir as formas de corrosão segundo Gentil (2011).

3.4.1 Uniforme

É a perda distribuída do material em toda a superfície, esse tipo se desenvolve de forma generalizada, ocorrendo perda uniformemente em toda parte superior do material. Trata-se do caso mais comum, principalmente quando se acompanha algum tipo de corrosão externa. Se tratando de desgaste, esse tipo de corrosão é uma das mais alarmantes, pois a diminuição de espessura pode gerar falhas em materiais e equipamentos. Na Figura 4 tem-se uma representação de como se manifesta a corrosão uniforme.

Figura 4: Corrosão uniforme em engrenagens.

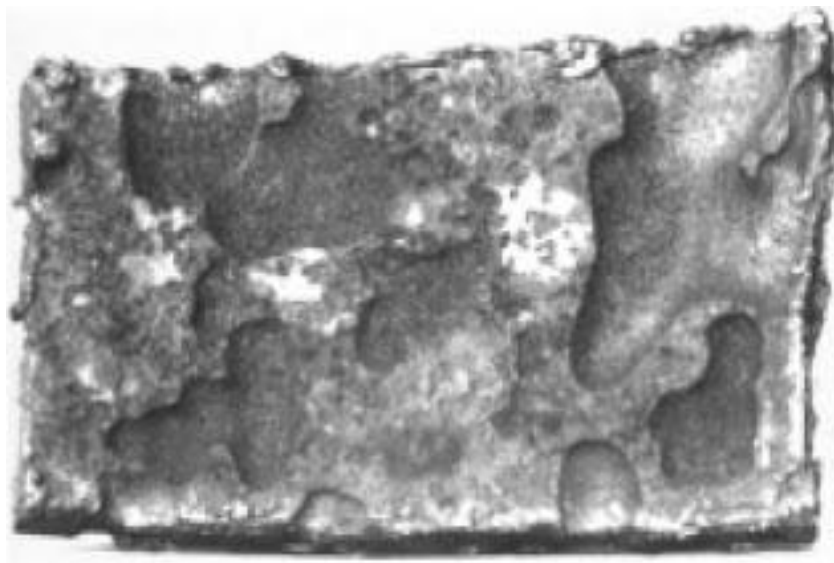


Fonte: CONPLEQ – Blog de Consultoria e Planejamento (2016).

3.4.2 Por placas

Esse tipo de corrosão se localiza na superfície metálica e não em toda sua extensão, se ocorre pelo desprendimento de placas, de pequena profundidade e de maior diâmetro. Na Figura 5 tem-se uma representação dessa morfologia.

Figura 5: Corrosão por placas em chapa de aço carbono de costado de tanque.



Fonte: Blog de Engenharia Química (2015).

3.4.3 Alveolar

Processa-se na superfície metálica, seu formato é semelhante a alvéolos, fundo arredondado e profundidade geralmente menor que seu diâmetro. A Figura 6 retrata esta forma de deterioração que ocorre de forma localizada.

Figura 6: Corrosão alveolar.



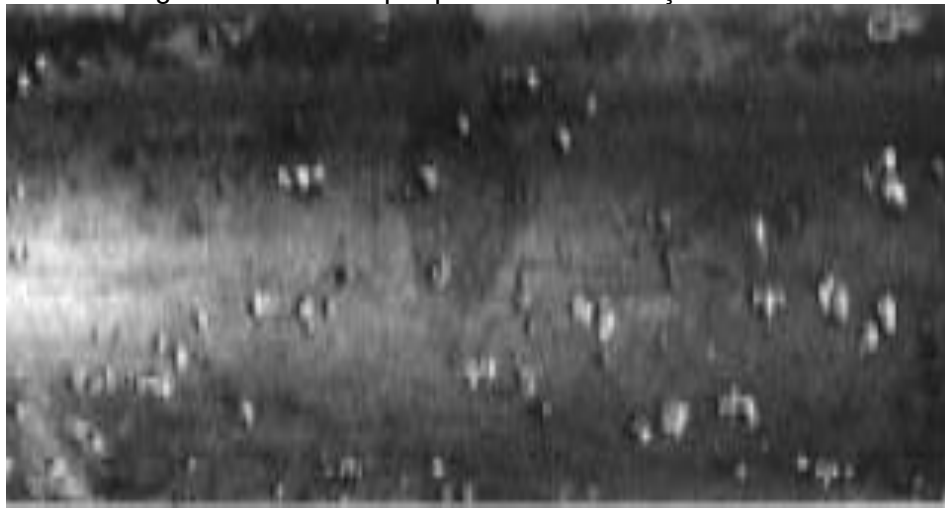
Fonte: Blog Engenheiro de Materiais (2017).

3.4.4 Por pite

Manifesta-se em pequenas áreas localizadas na superfície metálica. Esse tipo de corrosão é identificado facilmente por apresentar furos de pequenos diâmetros, no entanto de grande profundidade, dificultando assim o seu estudo,

por ocorrer no interior do material. A Figura 7 simboliza a corrosão por pite, se diferenciando da por placas apenas pelos seus sulcos, que possuem maior profundidade e menor diâmetro (OLIVEIRA, 2012).

Figura 7: Corrosão por pite em tubo de aço inoxidável.

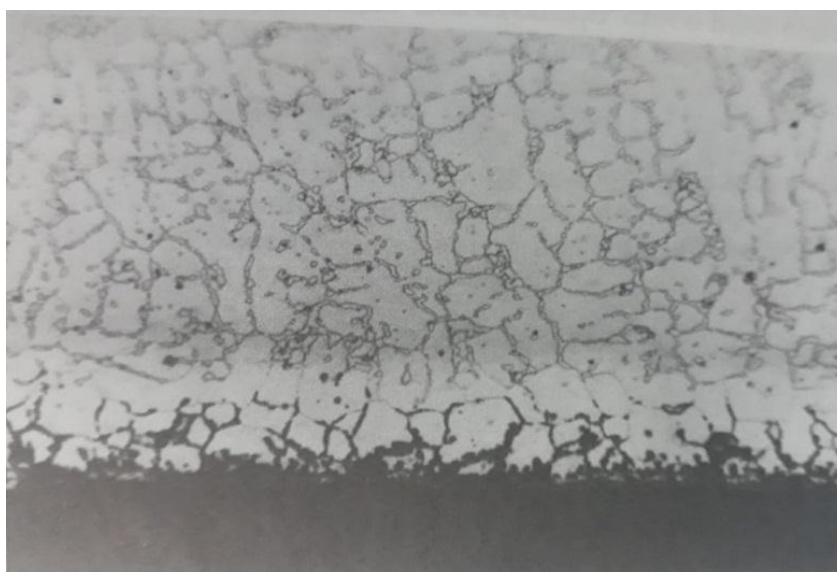


Fonte: Blog de Engenharia Química (2015).

3.4.5 Intergranular

Simbolizada na Figura 8, processa-se entre os grãos da rede cristalina do material, neste tipo de corrosão ocorre à danificação do material por meio dos contornos de grãos da rede, enfraquecendo a ligação com a matriz, ocasionando na perda de propriedades mecânicas, podendo fraturar quando submetido a esforços mecânicos, ocorrendo, por exemplo, em torno dos cordões de solda.

Figura 8: Corrosão Intergranular.

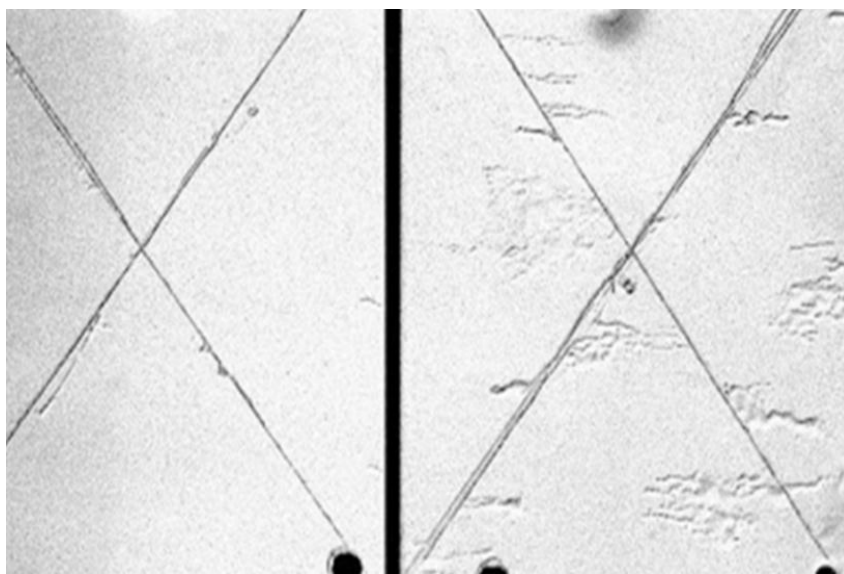


Fonte: GENTIL (2011).

3.4.6 Filiforme

Processa-se em toda a superfície, se manifestando de forma generalizada em toda extensão corroída na forma de finos filamentos, não profundos. Como se pode observar na Figura 9, os filamentos se manifestam em diferentes direções e não se ultrapassam.

Figura 9: Corrosão na superfície de alumínio sob revestimento orgânico.



Fonte: CONPLEQ – Blog de Consultoria e Planejamento (2016).

3.4.7 Por esfoliação

Propaga-se de forma paralela a superfície metálica, em materiais que possuem forma de chapa e que tiveram seus grãos alongados e achatados, sua manifestação ocorre conforme a Figura 10. Resultando na separação de camadas, ocorrendo o deslocamento do material em toda a superfície de forma paralela.

Figura 10: Esfoliação em peça metálica.



Fonte: Portal Metalica (2018).

3.4.8 Empolamento de hidrogênio

Ocorre quando o hidrogênio atômico penetra no material metálico, e se encaixa em regiões com discontinuidades, este processo ocorre facilmente devido o seu pequeno volume, assumindo forma de hidrogênio molecular, H_2 , resultando em um aumento de volume. A Figura 11 retrata a sua ocorrência.

Figura 11: Chapa de aço-carbono com empolamento de hidrogênio.



Fonte: Blog Engenheiro de Materiais (2017).

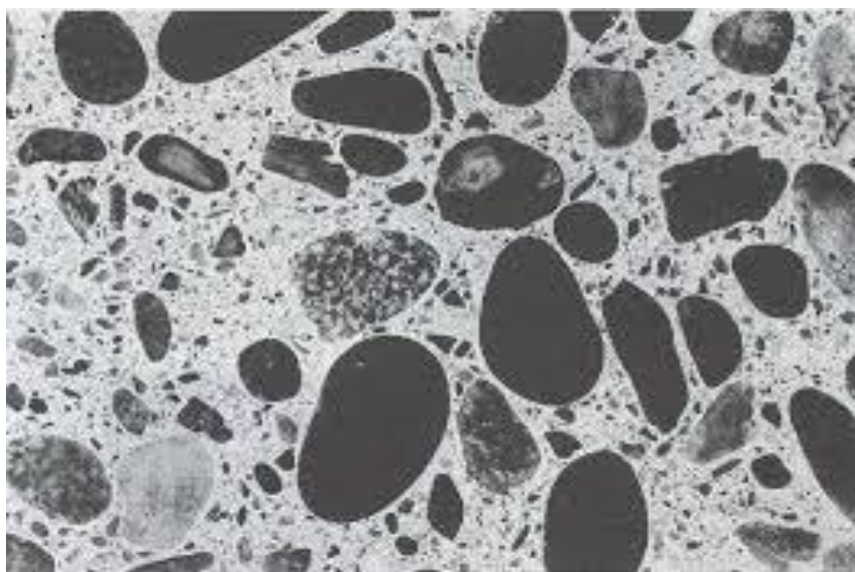
3.5 Corrosão no concreto Armado

3.5.1 O Concreto

Material bastante utilizado na construção civil, o concreto armado é conhecido pela sua facilidade de aplicação e adaptação nas mais variadas formas. Contudo, para garantir a sua qualidade e segurança é necessário haver cuidados, que envolvem desde as etapas dos projetos até sua execução (MARTINS, *et al.* 2016).

O concreto possui em sua formação cimento, agregados de variados tamanhos, água, e quando necessário é utilizado adições e aditivos. Estruturalmente se caracteriza por sua alta resistência a compressão, enquanto a sua resistência à tração é baixa, justamente por esse motivo o aço é acrescentado ao concreto, tornando-o mais resistente a tração, desse modo tem-se a formação do concreto armado (GENTIL, 2011). Com sua estrutura complexa, na Figura 12 é possível identificar a pasta endurecida do cimento e algumas partículas de agregado.

Figura 12: Seção polida de um corpo-de-prova de concreto.



Fonte: MEHTA, *et al.* 1994.

Devido seus constituintes e agentes como sais, vapores, gases e micro-organismos, o concreto está sujeito a mudanças com o passar do tempo. Segundo engenheiro e professor da Universidade Federal de Minas Gerais: “Essas interações resultam em anomalias que podem comprometer o desempenho da estrutura, provocar efeitos estéticos indesejáveis ou causar

desconforto psicológico nos usuários”. A manifestação dessas anomalias acontece de forma clara e característica, permitindo ao profissional identificar à natureza, a origem e os mecanismos que estão envolvidos, como também as suas consequências (KLIMPEL, *et al.* 2010).

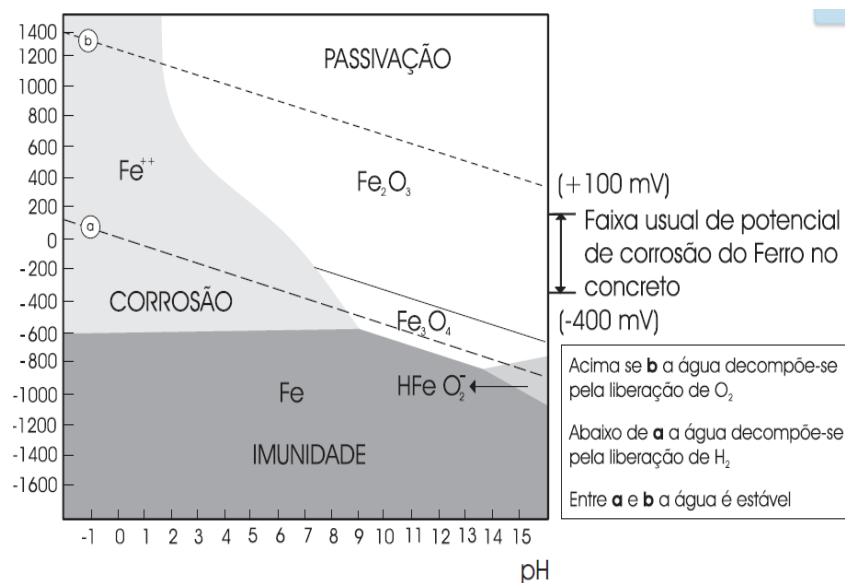
3.5.2 Corrosão na estrutura

Segundo Barbosa *et al* (2012), a corrosão nas armaduras trata-se da maneira mais comum de deterioração dos materiais, colocando em risco a segurança de todos que compartilham o ambiente, afetando também a estética. O fato das obras passarem por vistorias estar relacionado à danificação metálica, que ao se relacionar com a durabilidade do concreto, causa preocupação em encontrar maneiras de diminuição desse processo (VIEIRA, 2003).

A deterioração nos vergalhões pode ocorrer de dois modos: devido à oxidação, quando se é provocada por uma reação de gás-metal, dando origem a formação de uma película de óxido na sua superfície, e devido à corrosão, a qual se cabe uma maior preocupação, pois se tratar da responsável pelo processo mais crítico de deterioração. A formação dessa película sucede-se na fabricação do aço. Impedir que o processo corrosivo alcance o metal é a função da película (MARQUES, 2015).

Os materiais metálicos apresentam essa camada de passivação (proteção), devido à presença do hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) de $pH = 13$. Caso o pH da camada de proteção tenha valor inferior a 11, verificam-se compostos ferrosos expansivos, resultando conseqüentemente em fissuras e trincas, devido o aumento do volume no metal. A vida útil do concreto é responsável por manter a passivação, assim sendo, antes de cobrir uma estrutura se faz necessário todo o cuidado para com o pH, como também para com a exposição ao qual se encontra o concreto armado (DO NASCIMENTO, 2015). A Figura 13 representa o diagrama de Pourbaix para o Fe, descrevendo as regiões de corrosão, passivação e imunidade, como também a delimitação para o sistema $Fe - H_2O$.

Figura 13: Diagrama de Pourbaix para o sistema Ferro-Água a 25°.



Fonte: CASCUDO (1997).

Cascudo (1997) relata que ao tratar de um ataque eletroquímico, em ambiente aquoso, provocado por uma pilha de corrosão com eletrólito, e ddp entre partes da superfície, estamos nos referindo à corrosão aquosa. A formação desta pilha ocorre em decorrência da presença do aço em contato com a umidade do concreto. A forma mais comum encontrada nas estruturas de concreto armado é por meio da diferença de potencial entre as superfícies. Portanto, é importante ter por conhecimento que antes mesmo da aplicação do material metálico, o mesmo já pode se encontrar em condições inadequadas.

Segundo Marques (2015), no momento que o aço recebe a corrosão, suas propriedades essenciais, ductilidade, elasticidade e resistência mecânica, são em partes perdidas, sendo esse fenômeno possível de ocorrer antes mesmo de ser utilizado, dependendo das condições ambientais.

É importante compreender, que antes de utilizar o material é necessário classificá-lo. Essa classificação ocorre segundo a sua composição química, por exemplo: os aços carbono e os aços ligas. Pode ocorrer também com relação ao seu processamento, podendo ser dividido em laminados a quente ou a frio, a categorização acontece, além disso, segundo suas propriedades mecânicas e da sua microestrutura (DAMIN, *et al.* 2017).

3.5.3 Processos de Corrosão no Concreto armado

Cobrimento inadequado, especificações incorretas e lacunas nos projetos, são alguns dos inúmeros motivos que possuem como efeito a formação de patologias nas estruturas de concreto armado. Se manifestando de diversos modos, podem ocorrer devido falhas de profissionais a frente dos projetos, como o teor de sal presente no cimento, assim como na água, além de fatores externos, como vibrações, tudo deve ser pensado pelo profissional a frente da obra (ROCHA, 2015).

“A armadura encontra-se no interior do concreto em meio altamente alcalino, pH em torno de 12.5. Esta alcalinidade provém da fase líquida constituinte dos poros do concreto, a qual, nas primeiras idades, basicamente é uma solução saturada de hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), chamado cimento Portland. Por outro lado, o concreto em idade avançada, permanece um composto alcalino, ao passo que neste caso a solução é composta de hidróxido de sódio ($NaOH$) e hidróxido de potássio (KOH) originários dos álcalis do cimento.” (CASCUDO, 1997).

Conforme Araújo (2013), os fatores principais para que ocorra a danificação no concreto armado tem como base os processos físico-químico e físico-mecânico, este frequentemente é relacionado à erosão, causada pelo atrito sólido ou líquido que se encontram suspensos contra o concreto, a cavitação, e abrasão se tratando do atrito seco de resíduos. A Figura 14 retrata o atrito de partículas sólidas.

Figura 14: Corrosão por erosão, com desgaste superficial, em galeria de água.

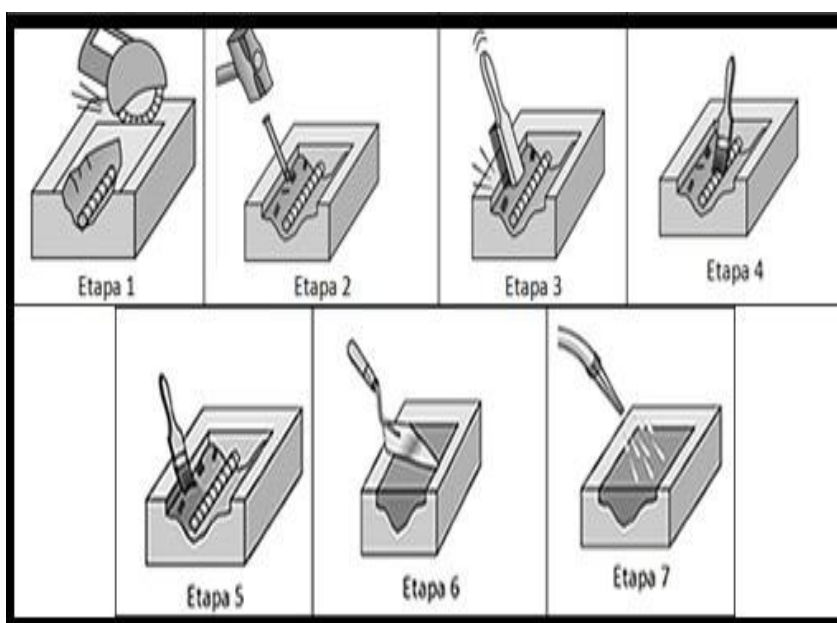


Fonte: ALMENDRA (2013).

Assim sendo, o tratamento adequado para áreas afetadas pela corrosão, em que a armação se encontra em contato com o concreto, é composto por sete etapas, estas podem ser observadas na Figura 15, foram devidamente especificadas por Medeiros (2018), da seguinte forma:

1. Delimitação da área com corte feito pelo uso da serra circular;
2. Escarificação do concreto solto e deteriorado;
3. Limpeza do produto de corrosão formado (feito de forma manual, com jato de areia ou de água);
4. Pintura na superfície do metal;
5. Aplicação de uma ponte de aderência;
6. Preenchimento com argamassa de reparo e acabamento da superfície;
7. Cura da argamassa de reparo (feita com água da rede de abastecimento de água potável).

Figura 15: Tratamento da corrosão no concreto.



Fonte: MEDEIROS (2018).

Se tratando de processos físico-químicos, a corrosão em armaduras pode ocorrer de três processos distintos:

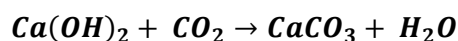
3.5.4 Carbonatação

Citada pela ABNT NBR: 6118:2014 como um dos principais agentes despassivadores, visto que desestabiliza a camada passivante, a carbonatação se manifesta quando o dióxido de carbono (CO_2) presente no meio ambiente,

penetra nos poros do concreto que contém a água (H_2O) e o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), formando o ácido carbônico (H_2CO_3), que possui um baixíssimo pH. Desse modo quando o H_2CO_3 reage com o $Ca(OH)_2$ ocorre à formação do carbonato de cálcio ($CaCO_3$), a carbonatação. Obtêm-se então, um pH neutro que sofre diminuição gradativamente, quebrando consequentemente a camada passivadora do aço, formada pela alta alcalinidade do concreto (SANTOS, 2015).

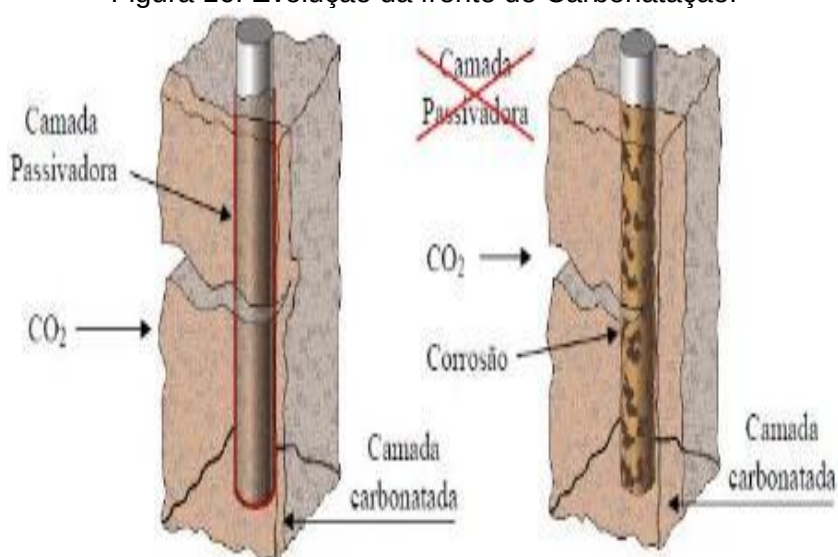
Proveniente da ação de agentes químicos penetrantes no concreto, por meio de poros e a umidade do sólido, a carbonatação resulta na alteração do pH, que elimina toda camada de proteção do concreto (SILVA, *et al.* 2016). A reação de quebra no processo é:

Equação 2: Formação da Carbonatação



A identificação dessa atividade ocorre com o uso da fenolftaleína, de forma simples. O seu processo se propaga lentamente, se enfraquecendo com o tempo. Este fato é explicado pela hidratação do concreto que ocorre constantemente, como também pelo carbonato de cálcio ($CaCO_3$), que preenche os poros na superfície dificultando o contato do gás carbônico no ar, no interior do concreto. Este tipo de processo trata-se de uma condição bastante fundamental para iniciar a corrosão das armaduras (CASCUDO, 1997). A Figura 16 demonstra o avanço da Carbonatação até atingir a armadura.

Figura 16: Evolução da frente de Carbonatação.



Fonte: BAZAN (2014).

3.5.5 Lixiviação

Representada por manchas de coloração branca na superfície do concreto das vigas, essa eflorescência muitas vezes assume forma de estalactites, rochas que se formam na superfície, direcionadas para baixo. À lixiviação é responsável pela alteração da cor do concreto, como também pela sua textura, podendo ocasionar manifestações patológicas mais sérias. As eflorescências são formadas devido às soluções aquosas salinizadas, quando sais são levados pela água utilizada na construção, ou até por infiltrações, ocorre os depósitos. A formação das rochas brancas ocorre devido à solidificação dos sais que se encontram em contato com o ar (VITORIO, 2003).

Desenvolve-se na presença de água quando o concreto se encontra mal concentrado ou por algum motivo possui fissuras, ou apresenta erro na execução das juntas, permitindo que a água penetre. Segundo Maciel (2015), no procedimento da lixiviação ocorre à extração do hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), isso quando a água entra em contato com o cimento, proporcionando o aumento da porosidade do concreto, colocando em risco a sua resistência, proporcionando a sua deterioração. A Figura 17 retrata o procedimento de lixiviação em viga de concreto armado.

Figura 17: manifestação patológica da lixiviação.



Fonte: Guide engenharia (2017).

3.5.6 Disgregação e desagregação

Dentre as variadas maneiras de deterioração do concreto estar às fissuras, visivelmente observadas por proprietários e usuários. Além de estabelecer um aspecto não agradável e o pressentimento de falta de estabilidade, o principal perigo é a penetração de agentes agressivos (COUTOM, *et al.* 2013 apud BAUER, 2009).

É importante ressaltar a diferença entre a disgregação e a desagregação. A disgregação se caracteriza pela ruptura do concreto, especificamente em regiões salientes das estruturas. Trata-se da perda de massa, favorecendo a diminuição da resistência mecânica e a formação de produtos expansivos. Por sua vez, a desagregação se refere a um dos sintomas característico do ataque químico, onde a principal reação é a do hidróxido de cálcio (COUTO, *et al.* 2013 apud BAUER, 2009). A Figura 18 representa de que forma a disgregação pode se manifestar.

Figura 18: Disgregação em concreto armado.



Fonte: DÓREA, *et al.* 2010.

3.6 Métodos de Proteção

Entender os mecanismos envolvidos em todo o processo da corrosão é fundamental para obter um controle real, como também para adotar uma medida corretiva adequada. Consequentemente é essencial conhecer as características do material, da utilização e as propriedades do meio corrosivo, possibilitando a escolha adequada do material (GENTIL, 2011).

A vantagem do concreto armado, é que desde que seja bem executado ele protege a armadura da corrosão. Com uma boa qualidade e com um cobrimento eficiente das armaduras, além de uma proporção adequada e homogênea de argamassa, o concreto garante a proteção do aço ao ataque de agentes externos, contidos na atmosfera, em águas ou dejetos orgânicos, como entre outros meios. Desse modo, agentes agressivos internos, inseridos em seu preparo, não são aceitáveis, isso por interferirem na sua capacidade de proteção contra o meio ambiente (E-CIVIL, 2015).

Quando se trata de um ambiente altamente alcalino, verifica-se a formação de uma película protetora de caráter passivo. Essa alcalinidade é devido às reações de hidratação dos silicatos de cálcio, que liberam o hidróxido de cálcio, este se dissolve em água e preenche os poros do concreto, alcançando em torno de 25% da massa total de compostos presentes na pasta, correspondendo a $100 \text{ Kg}/\text{m}^3$ de concreto (E-CIVIL, 2015).

Ao projetar uma estrutura dentro dos critérios exigidos nas normas, o processo de corrosão pode decorrer devido ambientes agressivos. O que torna necessário o uso de métodos para adicionar uma maior proteção à armadura.

3.6.1 Inibidores corrosivos

Dentre inúmeras maneiras, tem-se o uso de inibidores, substância ou conjunto de substâncias químicas, que eliminam ou causam a redução significativa da corrosão, podendo impedir o seu surgimento, não afetando de forma contrária as propriedades do concreto, pelo fato de serem específicos em termos do metal a ser protegido (ROCHA, 2015).

3.6.2 Proteção anódica

A formação de uma película protetora passivadora é a base desse processo, sua formação ocorre por meio de uma corrente anódica externa. É por intermédio dessa corrente no metal que a força entra na zona de passivação. Caso ocorra algum impedimento no fornecimento da corrente elétrica, a película vai se desfazer, conseqüentemente expondo o material. Portanto, é essencial que ela seja constante (QUEIROZ, 2018 apud ROSSI, *et al.* 2007).

3.6.3 Proteção catódica

Esse tipo de proteção consiste em estabelecer o potencial da armadura abaixo do potencial da corrosão, por meio de uma corrente constante, de longos períodos. O processo de aplicação consiste na eliminação da região anódica, forçando ao material possuir comportamento catódico (GENTIL, 2011).

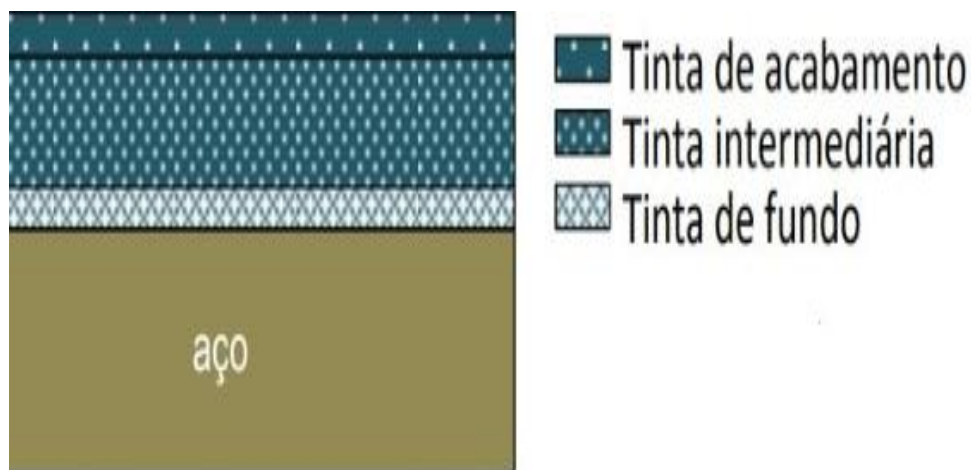
3.6.4 Revestimento

O revestimento impede o contato do oxigênio do ar com o aço por muitos anos, se trata do meio de proteção de menor custo ao relacionado com a sua capacidade. A aplicação de tinta, as com base de polímeros são mais eficientes, assim como de esmalte e cerâmicos, constituem o revestimento orgânico (DO NASCIMENTO, 2015).

É possível também realizar o revestimento com o metal na sua fase líquida, este, ao ter contato o material metálico sofre o processo de solidificação, formando uma película protetora, resistente ao atrito e ao impacto mecânico. Esse tipo de revestimento é comumente chamado de revestimento metálico (GENTIL, 2011).

Por mais que se trata de um processo econômico, para garantir uma boa qualidade do cobrimento com a pintura é necessário seguir um procedimento rigoroso. Consequentemente, caso não seja realizado devidamente, em poucos dias é possível observar a formação de bolhas, empolamento, enrugamento, entre outros, ocasionando um desempenho ineficiente do revestimento (MONTEIRO, 2005 apud HIGASHI, 2016). A Figura 19 traz a representação adequando desse processo.

Figura 19: Representação esquemática de tintas.



Fonte: CARDOSO, 2013.

Segundo GNECCO, *et al* (2003) os três tipos de tintas necessários para um revestimento adequado, como o observado na Figura 19, podem ser classificado do seguinte modo:

- Tinta de fundo: Também conhecida como primer, é aplicada diretamente ao substrato, se trata da principal responsável por fazer a pintura possuir maior durabilidade, ou seja, são as tintas que possuem em sua composição os pigmentos anticorrosivos;
- Tinta intermediária: Tem como função aumentar à espessura do revestimento, acrescentando deste modo à proteção por meio de uma barreira.
- Tinta de acabamento: Desempenha o papel da resistência, pois se encontra em contato direto com o meio corrosivo. É responsável pela estética do material, se tratando do último revestimento por meio da pintura.

Este processo possui três classificações básicas: pintura artística, pintura arquitetônica e pintura industrial. O revestimento por pintura do tipo industrial tem como principal função a proteção anticorrosiva de estruturas do tipo metálicas (CARDOSO, 2013).

4 CARACTERÍSTICAS DO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL

Situado no estado do Rio grande do Norte, a uma distância de 411 Km da capital Natal, o município de São Miguel estar localizado no interior. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o último censo realizado em 2010 afirmou que sua população neste ano era de 22.157 habitantes, sendo o mesmo constituído por uma área de 166,23 Km².

Sequentemente, ainda de acordo com o IBGE, o clima da cidade é tropical, chuvoso, possuindo uma temperatura média de 23,2 °C, com uma precipitação de 912 mm por ano, no entanto atualmente a cidade não possui abastecimento por meio da CAERN (Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte), devido à escassez de água, a cidade é atualmente abastecida por carros pipas do governo e poços particulares. A Figura 20 apresenta a localização geográfica da cidade de São Miguel.

Figura 20: Localização geográfica da cidade de São Miguel - RN



Fonte: IBGE (2018).

5 MATERIAIS E METODOLOGIA

A pesquisa teve como ponto de partida um estudo bibliográfico com foco no processo corrosivo. O levantamento de definições, no decorrer de toda fase da pesquisa sobre a corrosão, foi realizado em livros, revistas, trabalhos de conclusão de curso, sítios de internet e outros materiais.

O estudo de caso ocorreu pelo método da observação sistemática. Este método tem como objetivo registrar e acumular informações para então compreender como ocorre o fenômeno estudado. Neste estudo o investigador sabe o que procura e realiza o seu trabalho em condições controladas de tempo (LAKATOS, *et al.* 2003).

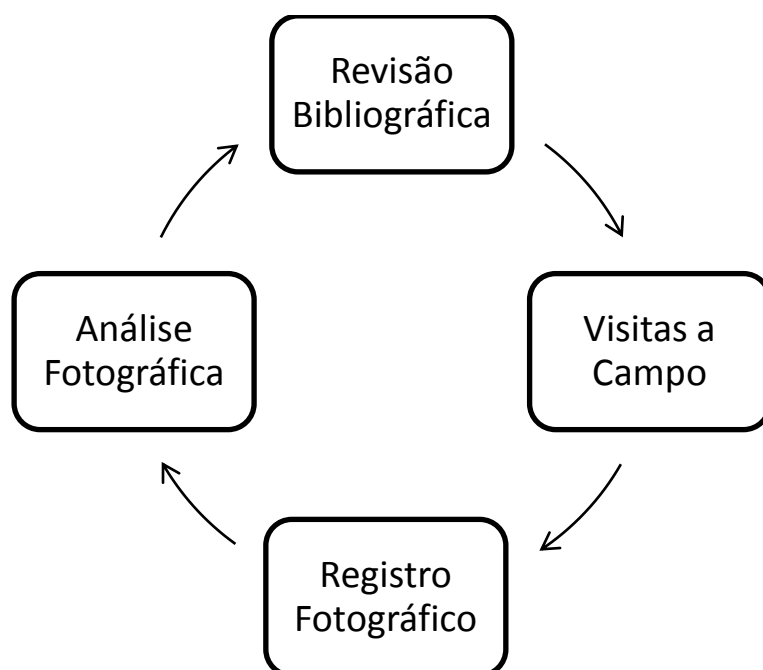
Sucessivamente, buscou-se confeccionar um paralelo entre a pesquisa bibliográfica juntamente com o estudo de caso. O mesmo foi realizado na sede de uma instituição privada localizada no município de São Miguel – RN, durante três meses de acompanhamento da problemática da corrosão na mesma.

Foram realizados registros fotográficos no muro frontal da instituição, com laje apenas sobre o portão. Especificamente os registros foram feitos da lateral e a parte inferior da laje.

O desenvolvimento do estudo do caso aconteceu por meio de registros fotográficos, com intervalos em torno de 15 dias, com objetivo de registrar possíveis mudanças no material. Desse modo, após o período de acompanhamento, os registros passaram por uma análise visual, onde se apresentou as considerações acerca dos registros coletados.

O organograma, representado na Figura 21, apresenta a dinâmica do trabalho, mostrando os processos e como também o curso da pesquisa.

Figura 21: Organograma da Pesquisa.



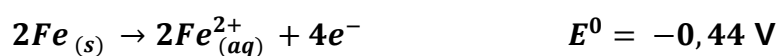
Fonte: Autoria própria (2019).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

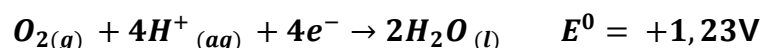
6.1 Análise da estrutura

Por meio dos registros fotográficos foi possível identificar na estrutura da edificação, a corrosão uniforme, do tipo eletroquímico, em estado bastante avançado, onde o meio atmosférico (ar úmido) foi capaz de atacar a armadura do concreto, desse modo o ferro se oxida quando exposto ao ar úmido – oxigênio (O_2) e a água (H_2O) formando a ferrugem.

Equação 3: Reação de oxidação do ferro

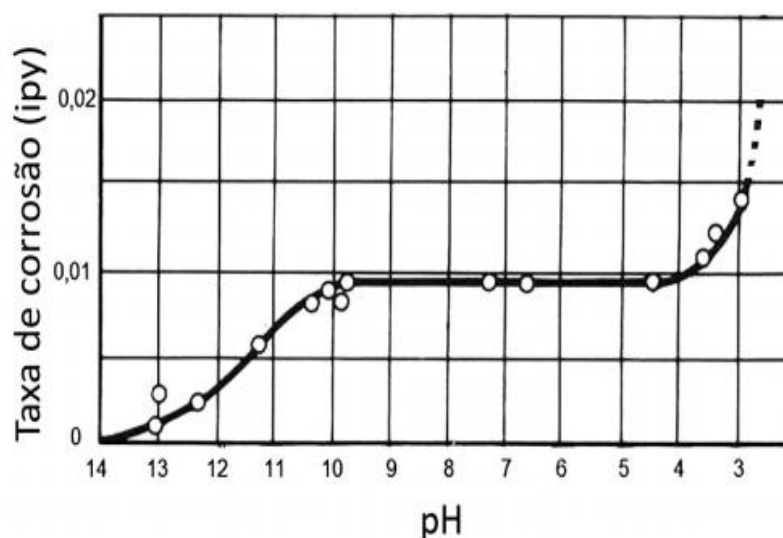


Equação 4: Reação de redução do ar atmosférico



A ocorrência da corrosão também se decorre devido às variações químicas, por meio da carbonatação, onde a alteração do pH retira a camada de proteção que o concreto possui, ocasionando a despassivação da armadura. Como pode ser vista na Figura 22, quanto menor for o pH maior será a taxa de corrosão.

Figura 22: Relação entre o pH e a taxa de corrosão do ferro.



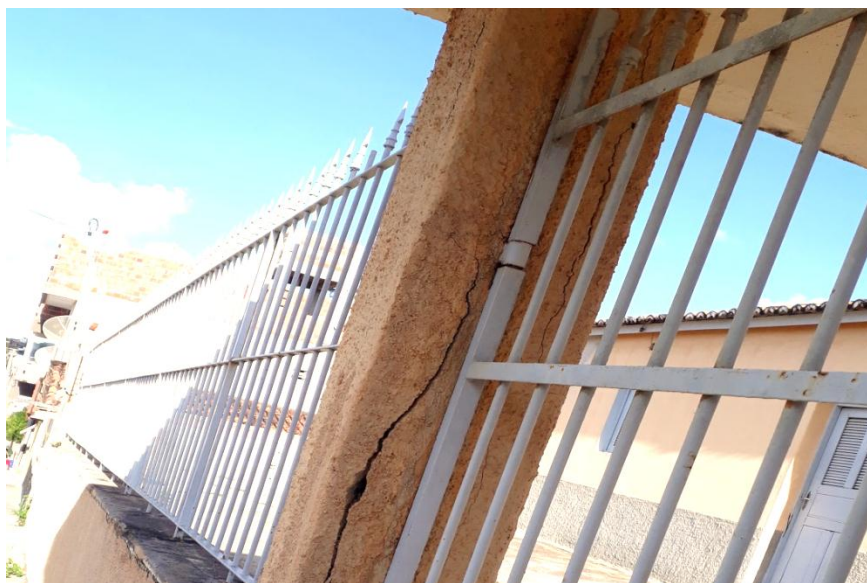
Fonte: GENTIL, 2011.

Uma maneira de medir a profundidade da carbonatação é realizar o teste com a fenolftaleína. No entanto no caso estudado não foi possível à aplicação desse teste, pois a estrutura veio a sua total destruição devido se encontrar em estado bastante avançado.

É importante ter por conhecimento, que o concreto atualmente é constituído por novos materiais, estes com uma facilidade de trincar que os obtidos em décadas anteriores, isso não pelo fato de sua composição ter passado por modificações, mas pelo fato que as partículas constituintes do cimento possuir tamanhos menores possibilitando um maior acesso aos agentes causadores da deterioração, como água (FONSECA, 2012).

Essas fissuras consequentemente causam o aceleração da carbonatação, permitindo o acesso mais rápido à armadura (SANTOS, 2015). Na Figura 23 é visível fissuras no concreto da edificação, já Figura 24 é possível visualizar a armadura em alto grau de desenvolvimento de deterioração.

Figura 23: Fissuras no concreto.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 24: Armadura de concreto armado em estado de deterioração.



Fonte: Autoria própria (2019).

Um dos modos mais econômicos de prevenir essa forma de corrosão é o revestimento. Contudo, quando a área se encontra em alto grau de deterioração, como pode ser vista na Figura 25, o recobrimento da área, como forma de amenizar a corrosão, não é simplesmente a aplicação de uma camada de tinta na estrutura corroída. Ao contrário, a pintura vai além da estética. Com isso, essa prática não trará resultado positivo, ocorrendo em poucos dias o aparecimento da área comprometida, como pode ser observado na Figura 26, onde em menos de 30 dias de aplicação do revestimento, a pintura já tinha saído em algumas áreas, enquanto em outras estava começando a se desgastar.

Figura 25: Estado anterior ao revestimento, 30 dia antes.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 26: Aplicação do revestimento após 30 dias.



Fonte: Autoria própria (2019).

Caso os sete passos de tratamento da corrosão localizada no concreto, compreendidos na Figura 15, não sejam devidamente realizados, a estrutura pode ser totalmente comprometida, ocasionando, em casos bastante graves, o rompimento de toda a estrutura, como pode ser observado na Figura 27 e 28, onde em dois meses (60 dias) de estudo, foi possível observar o colapso total da estrutura.

Figura 27: Desabamento de estrutura de concreto armado, após 60 dias.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 28: Desabamento de estrutura de concreto armado, após 60 dias.



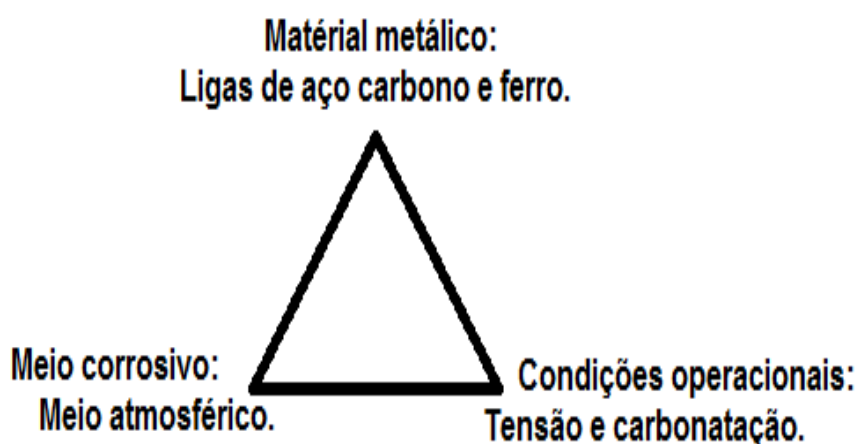
Fonte: Autoria própria (2019).

6.2 Triângulo da corrosão

Todavia, antes de iniciar um trabalho do tipo corrosivo, é fundamental a montagem do triângulo de corrosão. Este possui fundamental importância para a identificação dos principais agentes causadores das modificações estruturais. De acordo com Gentil (2011), a formação do triângulo da corrosão é justificativa de três essenciais elementos, sendo eles: o material metálico, o meio corrosivo e as condições operacionais.

No caso abordado, o meio corrosivo é o atmosférico (ar úmido), bem como exposição a condições desfavoráveis de sol e chuva. A corrosão na estruturação do concreto ocorrerá em locais compostos de ligas de aço carbono e ferro, partindo para o último componente do triângulo, constituem as condições operacionais que essa armadura está sob tensão e carbonatação, a Figura 29 representa a formação do triângulo da corrosão.

Figura 29: Triângulo da corrosão.



Fonte: Autoria própria (2019).

Saber determinar cada elemento dos vértices do triângulo pode facilitar a compreensão acerca do fenômeno corrosivo. Por meio deste é possível encontrar técnicas adequadas para cada caso, favorecendo a solução do problema.

6.3 Solução para o problema estudado

Para início, seria necessário o teste de reforço estrutural, de modo a conseguir o aproveitamento de parte da edificação. Como a estrutura se encontrava em estado avançado de deterioração, chegando a desmoronar completamente, a solução seria refazer toda a estrutura, utilizando devidamente as técnicas de prevenção. A utilização de aços inoxidáveis seria ideal, composto por ferro, cromo e carbono, por se tratar de um ambiente altamente agressivo. Entretanto, por ser um produto de alto preço não é comumente utilizado (FREITAS, 2013).

De modo consequente, é possível prevenir que a corrosão atinja o material composto de ligas de aço e ferro, de forma a não ter altos gastos. Uma técnica para esse caso seria a utilização do revestimento, de preferência o revestimento metálico, onde o metal a revestir se solidifica na armação formando uma barreira protetora. Comumente é utilizado o Zinco, visto que possui potencial menor que o do ferro, oxidando mais facilmente. Outro revestimento indicado é o não metálico, este faz uso da pintura, tratasse do revestimento de mais baixo custo. No entanto, é fundamental seguir rigorosamente os passos para a aplicação correta, como foi visto no decorrer do trabalho.

É aconselhável também a aplicação de inibidores: este possui preços variantes. A substância ou conjunto de substancias forma uma camada impermeável de proteção permitindo uma maior durabilidade à camada anticorrosiva. Necessariamente não afeta negativamente as propriedades do concreto que será posto seguidamente, independente do seu estado, seja ele fresco ou endurecido (FREIRE, 2005).

Em seguida é acrescentado sobre a armadura o cobrimento, seus constituintes protegem a armadura da corrosão um maior tempo, desde que esse seja bem executado. A proteção da armadura também vai ocorrer devido o seu recobrimento, isto pelo fato de reduzir a velocidade que a carbonatação, presente na superfície do concreto, atinge a armadura. É recomendada a utilização de um concreto com alta compacidade, com adequado teor de argamassa e homogêneo, garantindo a proteção do aço dos agentes agressivos externos. Por último, é aplicado novamente o revestimento não metálico (pintura), garantindo à proteção do concreto e a estética de toda construção.

7 CONCLUSÃO

Nesta situação, foi então observado que a corrosão se encontrava em toda laje, como também no murro frontal, ocasionando consequentemente o desgaste de todo o material, como é possível observar nas Figuras 23 e 24.

Portanto, com a análise visual e o estudo, além das contribuições das literaturas, percebe-se que a falta de manutenção intensifica o início das manifestações patológicas na armadura, sendo a corrosão a principal quando se trata de estruturas de concreto armado. Em razão de o desenvolvimento acontecer na parte estrutural da construção, é necessário ter uma maior cautela para que a estrutura não venha ao colapso.

Torna-se compreensível que, quando não se tem um acompanhamento constante da estrutura em contato com o concreto, o processo corrosivo se intensifica. No entanto, é fundamental a utilização de um material de boa qualidade, visto que o concreto e a armação são os materiais mais utilizados na construção civil. Além do mais, um bom recobrimento da armação se faz necessário, como também a proteção direta na armadura, aumentando consequentemente a durabilidade da construção.

É importante ressaltar que, no presente trabalho a estrutura se encontrava em alto grau de danificação, o que ocasionou o desmoronamento. No entanto, nem sempre isso ocorre, há casos em que, devido fiscalização, a identificação da problemática ocorre com uma maior antecedência, possibilitando que o reparo seja feito naquele trecho da armação. Contudo, constatasse que se houvesse o comprimento de um plano de manutenção preventiva das estruturas as manifestações poderiam ser minimizadas.

Desse modo, a realização desse trabalho contribuiu para o estudo e análise de patologias em armaduras de concreto armado que são ocasionadas pela corrosão, e são facilmente identificadas no dia a dia. Por meio deste, é possível um aprofundamento de conhecimento sobre o tema das manifestações que levam a deterioração do material, garantindo um maior lucro de aprendizado.

Atingindo com êxito os objetivos desse trabalho, foi compreendido o fenômeno corrosivo, assim como as suas causas, além do diagnóstico tipo de corrosão do presente caso, juntamente com as reações químicas que faz parte do processo, onde por meio do triângulo da corrosão foi evidenciado cada parâmetro,

que contribuiu para o conhecimento de técnicas adequadas de proteção. No entanto, para o caso estudado não foi possível à apresentação de soluções de proteção devido à estrutura se encontrar em altíssimo grau de danificação, consequentemente vindo ao seu colapso.

É notável a necessidade de investimentos nos estudos dessa área, objetivando que a ocorrência de oxirredução seja reduzida em larga escala. Provendo, desse modo, ganho econômico geral, tanto para o país quanto para a sociedade, com obras de maior vida útil e seguras.

7.1 Propostas para trabalhos posteriores

Como sugestões para trabalhos futuros, tem-se o estudo de cada componente do concreto, antes de ser confeccionado, com o objetivo de prolongar a sua durabilidade, contribuindo para que a deterioração da armação não ocorra facilmente. Do mesmo modo, é necessário o estudo de novos métodos preventivos, que além de eficazes sejam de baixo custo.

Visando continuamente um menor gasto financeiro, trabalhos que reforcem o grau de importância da manutenção da estrutura, como também do acompanhamento periódico de toda a edificação são cruciais. Estes processos quando não realizados podem ocasionar procedimentos de reparos e até mesmo a reestruturação, deixando as edificações em condições inadequadas para uso.

O acréscimo de conhecimento, acerca de sintomas e causas da degradação do concreto, como de medidas preventivas e formas de recuperação, como de reforço estrutural, é de suma importância para a atuação profissional, sendo excelentes temas.

REFERÊNCIAS

ABRACO. Melhor Prevenir do que Remediar. **Revista proteção&corrosão**, v. 13, n. 61,p. 4, abr. 2016. ISSN 0100-1485.

ALVES, H. G. et al. **Aplicação da técnica de polarização linear para detectar corrosão em concreto armado atacados por SO e Cl 4**. Revista de Química Industrial, Campina Grande, v. 736, 2012.

ARAUJO, A; RIBEIRO, J. L. S., CARDOSO, J. L., PACHECO, M. S., da SILVA, C. A., RUFINO, C. H., & PANOSSIAN, Z. (2017). Definição e preparação de corpos de prova de concreto armado destinados a ensaios acelerados de corrosão de armaduras. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, 1(3).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GALVANIZAÇÃO – ABGALVA. Disponível em: <<http://abgalva.org.br/preco-de-metais/dados-do-setor/>>. Acessado em: 26 de jul. de 2018.

ATKINS, Peter; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Bookman Editora, 2018.

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.

BROWN, T. L; LEMAY, H; BURSTEN, B.E. **Química: a ciência central**. 9. ed. Pearson Prentice Hall, 2009.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto – inspeção e técnicas eletroquímicas**. Goiânia, GO: Editora UFG, 1997.

CARDOSO, R. **Pintura para metais como proteção anticorrosiva**. Rio de Janeiro: Brt - Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2013.

Corrosão em estruturas metálicas. Portal Metalica. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/corrosao-em-estruturas-metalicas>>. Acessado em: 15 de mar. de 2019.

HALECK, L. **Corrosão uniforme**. Disponível em: <<http://www.conpleq.com.br/conpleq-consultoria/>>. Acessado em: 09 de mar. de 2019.

_____. **Corrosão filiforme**. Disponível em: <<http://www.conpleq.com.br/conpleq-consultoria-corrosao-filiforme/>>. Acessado em: 09 de mar. de 2019.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia dos materiais uma introdução**. 8. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos, 2012.

COUTO, J. A. S; CARMINATTI, R. L; NUNES, R. R. A; MOURA, R. C. A. (2013). **O concreto como material de construção**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT, 1(3).

COELHO, P. **Diferentes tipos e formas de corrosão**. Disponível em: <<https://www.engquimicasantosp.com.br/2015/06/diferentes-tipos-e-formas-de-corrosao.html>>. Acessado em: 15 de mar. de 2019.

DAMIN, Keli Vanessa Salvador; GENEROSO, Daniel João; NETO, Francisco Cavilha. Aços inoxidáveis duplex: uma breve visão. **Revista Liberato**, v. 18, n. 29, 2017.

DO NASCIMENTO, F. B. C. **Corrosão em armaduras de concreto**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, v. 3, n. 1, 2015.

DÓREA, S. C., SANTOS, D. D. G., SALES, A. T. C., & SILVEIRA, P. M. D. (2011). **Avaliação patológica da estrutura de concreto armado e dos componentes de uma edificação construída em 1914**. Scientia Plena, v. 6, n. 12 (b), 2010.

FREITAS JR, J. de A. **Durabilidade do Concreto** (TC-031). 2013.

E-CIVIL. **Corrosão de armaduras**. Disponível em: <http://www.ecivilnet.com/artigos/corrosao_de_armaduras.htm>. Acesso em: 27 abr. de 2019.

FERNANDES, F.; MARIANO, R.; GNECCO, C. Tratamento de superfície e pintura. **Instituto Brasileiro De Siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço**: Rio de Janeiro, 2003.

FONTENELE, M. **Shopping começa a desmontar torre após acidente que matou universitária**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/se/sergipe/noticia/2016/08/shopping-comeca-desmontar-torre-apos-acidente-que-matou-universitaria.html>>. Acessado em: 15 de mar. de 2019.

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto**. 2005.

FONSECA, E. A. C. **Fissuras, trincas, causas, prevenções e terapia em edificações**. 2012.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2011.

HIGASHI, M. M. Y. **Reforço em Estruturas de Betão Armado com Chapas de Aço**. 2016. Tese de Doutorado.

KLIMPEL, E. C. et al. **Levantamento das manifestações patológicas presentes em unidades do conjunto habitacional Moradias Monteiro Lobato**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Patologia nas Obras Cíveis) – Instituto IDD, Curitiba, 2010.

KERKOFF, M. K. **Manifestações patológicas em edificações: Lixiviação**. Disponível em: <<https://guideengenharia.com.br/lixivacao-em-edificacoes/>>. Acessado em: 27 de maio de 2019.

LAKATOS, E. M. et al. **Metodologia científica**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MURAT, G. G; PEREIRA, C. R; ABRAHÃO, L. S; SOUZA, M. L. C; PIMENTEL, R. D. P; SILVA, T. R. **Introdução aos fenômenos eletroquímicos**. Disponível em: <<http://pibidqmcvr.blogspot.com/2012/12/800x600-normal-0-21-false-false-false.html>>. Acessado em: 27 de maio de 2019.

MERCON, Fábio; GUIMARÃES, Pedro Ivo Canesso; MAINIER, Fernando Benedito. **Corrosão**: um exemplo usual de fenômeno químico. Química Nova na escola, v. 1, n. 19, p. 11-14, 2004.

MARTINS, Juliana Furtado Arrobias; FIORITI, Cesar Fabiano. Investigação de manifestações patológicas em sistemas estruturais de concreto armado: Estudo de caso em edificação pública. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 3, n. 4, 2016.

MACIEL, E. F. **Avaliação da lixiviação de cromo em monólito de concreto por imersão e irrigação**. 2015.

MARQUES, V. S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras**: definição das variáveis que interferem no custo. 2015

MEHTA, Povindar K.; MONTEIRO, Paulo JM; CARMONA FILHO, Antônio. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. Pini, 1994.

MEDEIROS, M. H. F. de. **Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos**. AECweb, Revista Digital. Disponível em:< http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-egases-nocivos_6412_0_1> Acessado em: 11 de maio de 2019.

MOTA, J; BARBOSA, F; COSTA E SILVA, A. J; FRANCO, A; CARVALHO, J. (2012). **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido ao ataque de íons cloreto**. In 54º Congresso Brasileiro de Concreto.

NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

OLIVEIRA, A. R. de. **Corrosão e tratamento de superfície**. 2012.

Processo de construção e montagem de dutos. Disponível em: <<http://dutosnobrasil.blogspot.com/2016/08/>>. Acessado em: 27 de maio de 2019.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 6ª ed. Gerdau, 2015.

PROBST, S. **As formas de corrosão**. Disponível em: <<http://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/>>. Acessado em: 09 de mar. de 2019.

QUEIROS, M. G. de O. **Estudo e Análise do Processo Corrosivo no Açougue Público de São Miguel/RN**. 2018.

ROCHA, I. Corrosão em estruturas de concreto armado. **Revista Especialize online**, Goiânia, v. 10, 2015.

SILVA, Y. **Corrosão causou acidente em terminal de Madre de Deus**. Disponível em: <<http://atarde.uol.com.br/bahia/noticias/1928175-corrosao-causou-acidente-em-terminal-de-madre-de-deus>>. Acessado em 27 de maio de 2019.

SILVA, R. et al. Avaliação Do Desempenho De Impregnante Inibidor De Corrosão Aplicado Em Estruturas De Concreto Armado Sob A Ação De Íons Cloreto. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada** v. 2, n. 1, 8 nov. 2016. Disponível em: <<http://revistas.poli.br/index.php/rep/article/view/391>>. Acessado em 7 mar. 2019.

SANTOS, A. dos. Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação. **Revista online Especialize**, Salvador, v. 1, n. 10, 2015.

VIEIRA, F. M. P. **Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras em concretos com adição de sílica ativa**. Tese de doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2003.

VITÓRIO, A. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia**. Instituto Pernambucano de Avaliação e Perícias de Engenharia. Recife, 2003.