



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

LUIZ EDUARDO PEREIRA DA SILVA

**CORROSÃO NO CONCRETO ARMADO: ANÁLISE DE CARBONATAÇÃO E
TEOR DE CLORETO NA ESTRUTURA DE PROTEÇÃO DE UM CANAL
LOCALIZADO NA CIDADE DE CARAÚBAS-RN**

CARAÚBAS-RN

2014

LUIZ EDUARDO PEREIRA DA SILVA

**CORROSÃO NO CONCRETO ARMADO: ANÁLISE DE CARBONATAÇÃO E
TEOR DE CLORETO NA ESTRUTURA DE PROTEÇÃO DE UM CANAL
LOCALIZADO NA CIDADE DE CARAÚBAS-RN**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido (UFERSA), como
exigência final para obtenção do título
de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof^a Dr. Guymmann Clay
da Silva – UFERSA

Co-Orientador: Prof^o Ms. Paulo
Henrique Araújo Bezerra - UFERSA

CARAÚBAS-RN

2014

O Conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Campus Caraúbas (BCC)

S586c Silva, Luiz Eduardo Pereira da.

Corrosão no concreto armado: análise de carbonatação e teor de cloreto na estrutura de proteção de um canal localizado na cidade de Caraúbas-RN / Luiz Eduardo Pereira da Silva – Caraúbas, RN, 2014.
56f. : il.

Orientador(a): Prof^a. Dr. Guymmann Clay da Silva.

Co-orientador(a): Prof. Ms. Paulo Henrique Araújo Bezerra.

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.

1. Concreto armado. 2. Corrosão. 3. Teor de cloreto.
4. Carbonatação I. Título.

RN/UFERSA/BCC

CDD: 624.1834

Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB-15/700

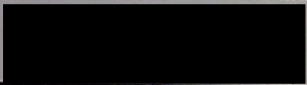
LUIZ EDUARDO PEREIRA DA SILVA

**CORROSÃO NO CONCRETO ARMADO: ANÁLISE DE CARBONATAÇÃO E
TEOR DE CLORETO NA ESTRUTURA DE PROTEÇÃO DE UM CANAL
LOCALIZADO NA CIDADE DE CARAÚBAS-RN**

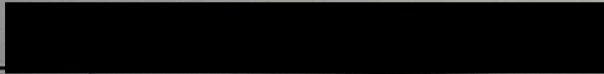
Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido (UFERSA), como
exigência final para obtenção do título
de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Aprovado em 05/08 de 2014

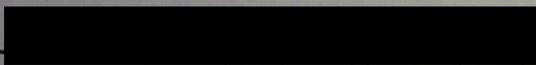
Comissão examinadora:


Daniel Freitas Freire Martins

Membro interno - UFERSA


Gyymmann Clay da Silva

Orientadora- UFERSA


Paulo Henrique Araújo Bezerra

Co-orientador- UFERSA

DEDICATÓRIA

*Dedico a meus pais, familiares e amigos,
pois cada um deles, seja de forma direta ou
indiretamente, contribuíram para que tudo isso
pudesse estar acontecendo.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por tudo que proporcionou e tem proporcionado em minha vida, pois sem a fé, não teria forças para prosseguir.

Agradeço infinitamente a minha adorável mãe Elizete Pereira e meu adorável pai Luiz Francisco da Silva, por todos os ensinamentos que me proporcionam para fazer a pessoa que sou.

Agradeço aos meus avós: Edmilson Pereira (Em memória); Chiquinha (Em memória); Duca.

Agradeço a minha tia Eliene juntamente com seu esposo Silvio por toda ajuda.

Agradeço a meus tios Elinardo, Nenê, Dedé, Eliézio e Elison; e as tias Eliete, Letinha, Lenilza e Lizete.

Agradeço aos primos: Netinho, Camila, Wellikery, Elinaide, Elaine, Berguinho, Neurinho; pelos conselhos, brincadeiras, conversas que de uma certa forma contribuíram para ser quem eu sou.

Agradeço a meus amigos Tales, João Filho, Rennan e Ayonnara pela grande amizade que temos há 14 anos, pelos grandes momentos que compartilhamos, pelos conselhos nas horas mais necessitadas.

Agradeço ao amigo Rafael Diógenes, pois foi o primeiro a me acolher quando vim estudar em Caraúbas-RN, e ao amigo Luiz Rodrigues pela amizade.

Agradeço a todos de Caicó: João Elias, Milena, Binho, Ciro, Raimundo Fernandes, Dona Luiza, Thiago, Joice, Ingridy, Ronaldo, Rogério, Flávio, Charline, Danilo, Washigton a aos demais. Por todos os conselhos, companheirismo e pela amizade.

Neidinha, João Aragão, Francisco Alencar e Letice agradeço por tudo que fizeram, de forma direta ou indireta que contribuíram para que este dia chegasse.

Agradeço a meus amigos de curso: José Gilmar, Ewerton Gurgel, Dário Silva, Sonally Lima, Fernanda Allana, Alisson e Saulo; por todas as batalhas que juntos enfrentamos. Além de todos os conselhos, companheirismo, amizade e brincadeiras.

Agradeço ao professor e Co-orientador Paulo Henrique, pela amizade e todo o conhecimento que tem me proporcionado; A orientadora Guymmann, por aceitar enfrentar o desafio da elaboração deste trabalho; Ao convidado da banca, Daniel Freitas por suas ideias que contribuíram para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Enfim, agradeço aos colegas que continuam na batalha e aos que já se foram, e a todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica.

RESUMO

O presente trabalho retrata a ocorrência de corrosão no concreto armado na estrutura de proteção de um canal localizado na cidade de Caraúbas-RN. Onde iniciaram os estudos a partir da visualização de indícios de ocorrência, em seguida feitas duas análises objetivando a determinação da presença dos mecanismos de carbonatação e teor de cloreto. A priori fez-se uma análise de carbonatação por meio da aplicação de um indicador (fenoftaleína); em um segundo momento na de teor de cloreto utilizou-se três amostras do concreto, onde foram para análise laboratorial utilizando o método de Mohr. Os resultados com relação ao primeiro caso, foi que com a utilização do indicador, o mesmo ficou incolor, mostrando que o local estava com pH abaixo de 7, assim qualificando-o como meio ácido. Com estes resultados e com observação no local, relacionou-se a corrosão uniforme ao mecanismo da carbonatação. Já para o teor de cloreto o resultado foi positivo uma vez que a coloração na análise de Mohr apresentou uma coloração cor de telha nas amostras analisadas, entretanto como a quantidade foi baixa em relação ao permitido (1000 mg/L) pela norma NBR 15900-6. Assim concluindo a presença de cloreto nas amostras não estava influenciando para a geração de corrosão por pite.

Palavras-Chave: Corrosão. Concreto Armado. Carbonatação. Teor de Cloreto.

ABSTRACT

This paper depicts the occurrence of corrosion in reinforced protection to the structure of a channel located in Caraúbas-RN concrete. Where they began their studies from the view of evidence of occurrence, then made two analyzes aimed at determining the presence of mechanisms of carbonation and chloride content. A priori made by an analysis of carbonation through the application of a specified (fnolftaleína); in a second stage in the chloride content was used three samples of concrete, which were for laboratory analysis using Mohr's method. The results with respect to the first case, that is using the window, it became colorless, indicating that the site was at a pH below 7, thereby qualifying it as an acidic medium. With these results and on-site observation, related to uniform corrosion mechanism of carbonation. As for the content of chloride was positive results since the analysis of Mohr staining showed a coloration color tile in the samples, however the amount was low as compared to permitted (1000 mg / L) by NBR 15900- 6. Thus concluding the presence of chloride in the samples was not influencing the generation of pitting corrosion.

Keywords: Corrosion. Concrete. Carbonation. Chloride percentage.

LISTA DE TABELA

<i>Tabela 1: Classes de Agressividade do Ambiente -----</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 2: Classe de agressividade e cobrimento nominal -----</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 3: Valores da análise do teor de cloreto presente nas amostras-----</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 4: Dados refinados da análise de teor de cloreto -----</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 5: Teor máximo de cloreto em água de amassamento -----</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 6: Designação dos cloretos em relação à coloração dos corpos-de-prova -----</i>	<i>50</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Representação de um Pilar</i>	17
<i>Figura 2: Representação de uma Viga</i>	17
<i>Figura 3: Algumas Aplicações do Concreto Armado</i>	18
<i>Figura 4: a) corrosão generalizada uniforme b) corrosão generalizada não-uniforme</i>	21
<i>Figura 5: Corrosão por Placas</i>	21
<i>Figura 6: Corrosão Alveolar</i>	22
<i>Figura 7: Corrosão por Pite</i>	22
<i>Figura 8: Corrosão Intergranular</i>	23
<i>Figura 9: Corrosão Transgranular</i>	24
<i>Figura 10: Corrosão Filiforme</i>	24
<i>Figura 11: Corrosão por Esfoliação</i>	25
<i>Figura 12: Corrosão Grafítica</i>	25
<i>Figura 13: Corrosão Dezincificação</i>	26
<i>Figura 14: Corrosão por Empolamento pelo Hidrogênio</i>	26
<i>Figura 15: Corrosão Em torno do cordão de solda</i>	27
<i>Figura 16: Pilha eletroquímica na armadura do concreto</i>	28
<i>Figura 17: Modelo de Vida Útil proposto por TUTTI</i>	30
<i>Figura 18: Esquema de difusão do CO₂</i>	32
<i>Figura 19: Poros secos</i>	33
<i>Figura 20: Poros completamente cheio de água</i>	33
<i>Figura 21: Poros parcialmente preenchidos com água</i>	34
<i>Figura 22: Corrosão por Pite</i>	34
<i>Figura 23: Canal de Caraúbas com sua proteção destruída</i>	39
<i>Figura 24: Método de Mohr</i>	42
<i>Figura 25: Amostra 1</i>	43
<i>Figura 26: Amostra 2</i>	43
<i>Figura 27: Amostra 3</i>	44
<i>Figura 28: Fissuras paralelas 1</i>	44
<i>Figura 29: Fissuras paralelas 2</i>	45
<i>Figura 30: Proteção de todo o canal fragmentado e com destacamento</i>	45
<i>Figura 31: Estágio avançado de fragmentação</i>	46
<i>Figura 32: Lascamento</i>	46

<i>Figura 33: Armaduras expostas</i>	47
<i>Figura 34: Presença de carbonatação</i>	48
<i>Figura 35: Coloração Rosa avermelhada</i>	48
<i>Figura 36: aplicação do nitrato de prata para a avaliação da presença de cloretos</i> --	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 CONCRETO ARMADO	16
2.1.1 - Aplicações do concreto	18
2.1.2 - Vantagens	19
2.2 CORROSÃO	19
2.2.1 - Formas de corrosão	20
2.2.1.1 – Uniforme	20
2.2.1.2 – Placas	21
2.2.1.3 - Alveolar	21
2.2.1.4 - Puntiforme ou Pites	22
2.2.1.5 - Intergranular	23
2.2.1.6 - Transgranular	23
2.2.1.7 - Filiforme	24
2.2.1.8 - Esfoliação	24
2.2.1.9 – Grafítica	25
2.2.1.10 – Dezincificação	25
2.2.1.11 - Empolamento pelo Hidrogênio	26
2.2.1.12 - Em torno do cordão de solda	27
2.3 - CORROSÃO NA ARMADURA DO CONCRETO ARMADO	27
2.3.1 - Deve existir um eletrólito	28
2.3.2 - Deve existir uma diferença de potencial - (ddp)	28
2.3.3 - Deve existir oxigênio	28
2.3.1 - Película de Passivação	29
2.3.2 - Período de Iniciação	30
2.3.2.1 - Presença de quantidade suficiente de íons cloreto	31
2.3.2.2 - Diminuição da alcalinidade do concreto	31
2.3.3 – Carbonatação	31
2.3.4 - Ação dos cloretos (Cl ⁻)	34

2.5 - MEIOS CORROSIVOS	35
2.5.1 - Atmosfera rural	36
2.5.2 - Atmosfera urbana	36
2.5.3 - Atmosfera marinha	36
2.5.4 - Atmosfera industrial	36
2.5.5 - Atmosfera viciada	36
2.6 – PROTEÇÃO	37
2.7.1 – Reparos localizados	38
2.7.2 – Reparos Generalizados	38
3 MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.5.1 – Análise Qualitativa	40
3.5.2 - Método de Análise da Carbonatação	40
3.5.2.1 – Análise da Carbonatação do Concreto	40
3.5.3 – Método de Avaliação do teor de Cloretos	41
3.5.3.1 – Análise Volumétrica	41
3.5.3.2 – Método de Morh	41
3.5.4 Método de aspersão de solução de nitrato	42
4 RESULTADOS	43
4.1.1 – Fissuras no concreto paralelas a armadura	44
4.1.2 – Fragmentação e destacamento do cobrimento	45
4.1.3 - Lascamento do Concreto com estágios avançados	46
4.1.4 – Exposição das armaduras corroídas	47
4.4 TESTE DE ASPERSÃO DE SOLUÇÃO DE NITRATO PRATA	50
5. CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

No passado, quando se falava sobre corrosão, não se imaginava que ela poderia estar presente também no concreto, como é dito por Gentil (2011), que este tipo de problema não se apresenta apenas em materiais metálicos, que estudos apontam que matérias não metálicas (concreto) vêm apresentando problema como este. Há algum tempo, esta nova concepção vem mobilizando profissionais da construção civil, pois se verificou que o processo corrosivo vem interferindo no tempo de vida útil e, muitas vezes, obrigando o proprietário a ter gastos exorbitantes com reparos das armaduras de concreto armado existentes, tentando assim aumentar seu tempo de duração (FRANÇA et al., 2011).

Sabe-se que a corrosão é uma manifestação patológica que interfere diretamente na sociedade e que cada vez mais vem chamando atenção dos estudiosos. Direcionando estes estudos para a construção civil, descobriu-se que este problema vem se apresentando e interferindo em estruturas de concreto armado, onde podem degradar o concreto e como consequência, causar o mesmo nas armaduras (GENTIL, 2011; FRANÇA et al., 2011).

As primeiras aparições relacionadas à corrosão nas estruturas de concreto armado foram visualizadas na década de 60, onde eram detectadas por meio de observações na qual se constatava a presença de manchas superficiais acarretadas pelo produto da corrosão, seguido por alguns fatores que aceleravam e aceleram até a atualidade esta manifestação patológica (RIBEIRO et al. 2014).

A construção civil, no instante que cresce alavancada pelo crescimento rápido da economia, vem sofrendo com os meios de produção do capitalismo (indústrias), haja vista que por meio de gases poluentes liberados no ambiente, este fato contribui de forma negativa, prejudicando as estruturas de concreto armado. No último século, começou-se a grande preocupação para criar métodos de proteção eficazes para evitar a disseminação desta manifestação patológica, que dentre as existentes, é a que mais preocupa aos engenheiros civis. Segundo Gentil (2011), ela pode afetar a estabilidade e a durabilidade das estruturas.

Sabe-se que são várias as formas de corrosão, de mecanismos, de meios, ou seja, de fatores que contribuem diretamente para a degradação e aceleração do processo corrosivo neste material. Por outro lado, várias são as formas de prevenir, proteger e reparar o mesmo (GENTIL, 2011).

Para um melhor entendimento sobre o processo corrosivo no concreto, Souza e Ripper (1998) afirmam:

[...] em oposição ao processo de corrosão do aço das armaduras, que é predominantemente eletroquímico, a do concreto é puramente química e ocorre por causa da reação da pasta do cimento com determinados elementos químicos, causando em alguns casos a dissolução do ligante ou a formação de compostos expansivos, que são fatores deteriorantes do concreto.

Alguns fatos que foram importantes para tornar este problema como objeto de estudo em todo mundo, é citado por Ribeiro et al. (2014):

[...] onde nos Estados Unidos os primeiros estudos sistemáticos de corrosão em armaduras se iniciaram em 1961, por iniciativa da Portland Cement Association-PCA, que juntamente com dez departamentos estaduais de transportes, efetuaram levantamento de manifestações patológicas em 70 tabuleiros de pontes distribuídas por vários estados americanos.

Para se ter ideia da grande importância que se tem em estudar este assunto, que a cada dia traz grandes prejuízos a sociedade, Gentil (2011) afirma que somente na rede federal de rodovias dos EUA, que compreende 600.000 pontes, cerca de 250.000 delas sofrem corrosão nas armaduras, necessitando de reparos. Além disso, França et al. (2011) informa que neste mesmo país o custo anual para reparos em relação a este problema chega a 3,1% do PIB, o que totaliza US\$ 276 bilhões, contra 3,5% no Brasil.

Dentre as medidas existentes para se evitar a ocorrência de corrosão, estão aquelas que são utilizadas logo na formulação do concreto. Existindo também formas preventivas a serem utilizadas na fase de execução do projeto (GENTIL, 2011).

Portanto, o presente trabalho terá como objetivo verificar o processo corrosivo no concreto armado utilizando a determinação do teor de cloreto e carbonatação do material de proteção de um canal localizado na cidade de Caraúbas-RN.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A construção civil é uma das áreas mais crescentes da economia no atual milênio. Apresentado grande importância para a sociedade, não é por menos que a relação de crescimento desta é diretamente proporcional ao crescimento da outra. Sabe-se que nela vários recursos naturais e industrializados são utilizados, dentre esses, o concreto armado, um material composto por: cimento, areia, água, brita e aço; onde é utilizado em várias aplicações (REBELLO, 2000; PINHEIRO et al., 2010; WIGHT, MACGREGOR, 2009).

É tão grandiosa a importância do concreto que, de acordo com Pinheiro et al. (2010), esse é o material estrutural mais utilizado no mundo. Seu consumo anual é da ordem de uma tonelada por habitante. Onde só perde para o consumo de água.

Apesar de difundido mundialmente, e amplamente utilizado, o concreto é alvo de várias manifestações que causam sua degradação, dentre elas a corrosão é uma das que chama atenção (FRANÇA et al., 2011).

Para Gentil (2011), a corrosão pode ocorrer de diferentes formas e o conhecimento das mesmas é muito importante no estudo dos processos corrosivos. A deterioração dos materiais se apresenta de formas variadas, assim sendo diferenciadas pela aparência ou forma, mecanismo e suas causas.

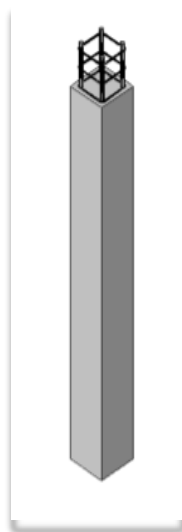
As formas de corrosão de forma geral são divididas em 12 tipos, mais levando em consideração aquelas que agem na armadura de concreto armado, em grande maioria ocorrem de duas formas: a do tipo uniforme e por pite (CASCUDO, 1997, RIBEIRO et al. 2014).

2.1 CONCRETO ARMADO

Apesar de sua composição, o concreto é considerado um material isótropo, pois ao longo de sua estrutura suas propriedades físicas são as mesmas em todas as suas direções. Além disso, este material, diferentemente do aço, apresenta resistência à compressão muito elevada comparada à tração, que em alguns casos chega a ser desprezível. Já o aço, sua resistência à tração é maior comparada à compressão (REBELLO, 2000).

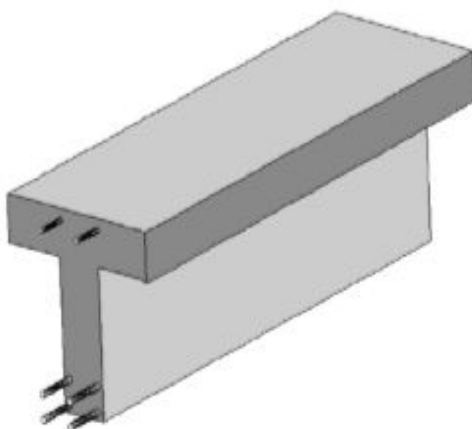
Havendo a necessidade de um material mais versátil aos tipos de esforços, acrescentou-se o concreto na armação de aço, assim passando a absorver tanto a esforços de compressão quanto a de tração de forma igualitária. Com isso, originou-se o concreto armado (REBELLO, 2000). Segundo Pinheiro et al. (2010), o concreto armado é a associação do concreto simples com uma armadura, usualmente constituída por barras de aço (Ver figura 1 e 2).

Figura 1: Representação de um Pilar



Fonte: Adaptado de PINHEIRO et al., 2010.

Figura 2: Representação de uma Viga

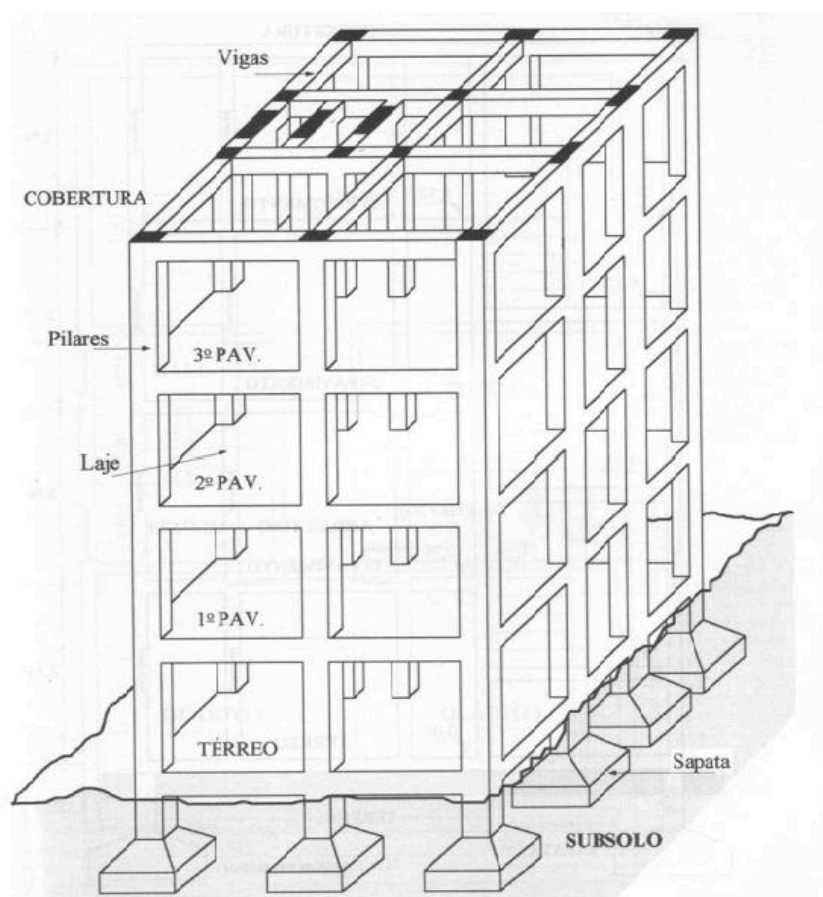


Fonte: Adaptado de PINHEIRO et al., 2010.

2.1.1 - Aplicações do concreto

Para ter ideia da grande dimensão da importância do concreto armado, a seguir pode-se observar as várias aplicabilidades no ramo da construção civil que o mesmo pode ter. Segundo Pinheiro et al. (2010) tem-se como exemplo, *edifícios*: na qual o concreto é utilizado na parte estrutural e de revestimento. Na primeira, sua importância se dá na produção de vigas e pilares, onde é utilizado para cobrir a armadura de aço e suportar esforços de compressão, o segundo é para dar esbeltez as edificações; Em *obras hidráulicas e de saneamento*: onde se dá a construção de barragens, canais, estações de tratamento, entre outros; *Rodovias*: pontes, viadutos, passarelas, túneis, galerias, entre outros por último as *Aplicações diversas*: Muros de arrimo, piscinas, postes, fundações para máquinas, chaminés, entre outros.

Figura 3: Algumas Aplicações do Concreto Armado



Fonte: Adaptado (BOTELHO; MARCHETTI, 2011)

2.1.2 - Vantagens

O concreto em relação a outros materiais estruturais apresenta algumas vantagens. A seguir serão citadas algumas delas (PINHEIRO et al., 2010).

- Devido ao mesmo ser moldável, seu manuseio é facilitado, assim auxiliando na variabilidade de formas de projetos.
- Com sua facilidade de manuseio, acelera a execução, além de que se forem utilizadas peças pré-moldadas diminui-se ainda mais o tempo da obra.
- O concreto serve também como protetor de armaduras contra corrosão.
- Faz com que os gastos de manutenção sejam reduzidos, desde que o projeto da obra seja bem executado.

2.2 CORROSÃO

A corrosão define-se como uma manifestação patológica que age na sua grande maioria em materiais metálicos, ocorrendo por ação química ou eletroquímica, deteriorando-se com auxílio ou não de ação mecânica do meio ambiente, acarretando a perda de massa do material (GENTIL, 2011).

Ressaltando que a corrosão química é responsável por deteriorar o concreto. Por outro lado, a eletroquímica é a que traz grandes problemas às obras civis, já que age nas armaduras. Ocorre em meio aquoso, originado de uma pilha, com eletrólito que é formado a partir da presença de umidade no concreto e diferença de potencial entre trechos da superfície do aço (CASCUDO (1997) apud PRINCETON (1978); (GENTIL, 2011).

Exemplificando, de acordo com Gentil (2011), em materiais metálicos a corrosão se desenvolve em torres de linhas de transmissão de energia elétrica, postes de iluminação, linhas telefônicas, tanques de armazenamento, instalações industriais, viadutos, passarelas, pontes; Já nos materiais não metálicos o processo ocorre no concreto, borracha, polímeros e madeira.

Segundo Ribeiro et al. (2014), o processo de corrosão é espontâneo, causado pela necessidade do material em atingir o seu estado de menor energia, ou seja, o seu estado mais estável. O que ocorre é que um material quando exposto e em contato com uma substância se apresenta como um agente redutor, doando elétrons, assim, como

consequência, sendo oxidado (ânodo). Ao contrário disso, o outro é o agente oxidante, recebendo elétrons e se reduzindo (cátodo) (GENTIL, 2011). A seguir pode ser visto (Equação 1 e 2) o exemplo de reações de oxirredução.



2.2.1 - Formas de corrosão

Para Gentil (2011), a corrosão pode ocorrer de diferentes formas, e o conhecimento das mesmas é muito importante no estudo dos processos corrosivos. A deterioração dos materiais se apresenta de formas variadas, assim sendo diferenciadas pela aparência ou forma, mecanismo e suas causas. A seguir é descrito as formas de corrosão existentes.

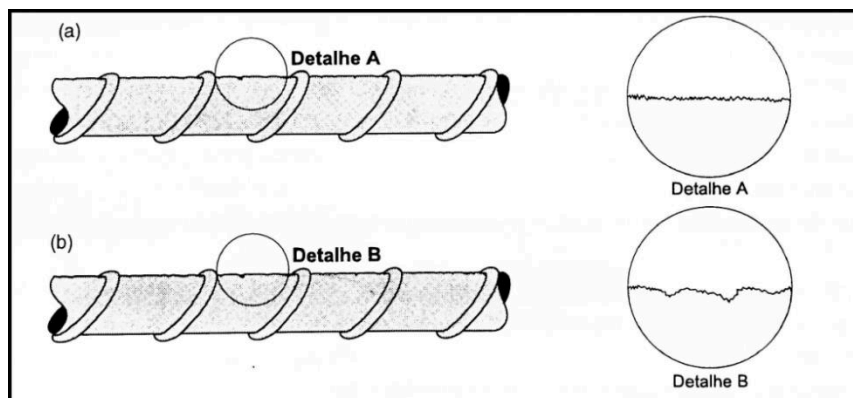
2.2.1.1 – Uniforme

Ataca toda a superfície do material que ela se processa. Com consequência ocorre a perda uniforme de espessura.

De acordo com Cascudo (1997) a corrosão generalizada, ocorre em toda a superfície do metal, podendo ser uniforme, com a superfície tendendo a ser lisa e regular, ou não uniforme, apresentando superfície rugosa e irregular.

A figura 4, a seguir mostra a representação deste caso citado anteriormente por Cascudo (1997).

Figura 4: a) corrosão generalizada uniforme b) corrosão generalizada não-uniforme



Fonte: Adaptado (CASCUDO, 1997)

2.2.1.2 – Placas

Esta ocorre na superfície metálica do material, mas diferentemente do tipo anterior, ela não age uniformemente, e sim formando placas sobre o mesmo, originando escavações, como pode ser visto na figura 5 (Gentil, 2011).

Figura 5: Corrosão por Placas



Fonte: Adaptado (GENTIL, 2011)

2.2.1.3 - Alveolar

Seu processo se dar na superfície metálica, produzindo escavações (Figura 6), onde apresenta cavidade arredondada e profundidade geralmente menor do que seu diâmetro (Gentil, 2011).

Figura 6: Corrosão Alveolar



Fonte: Adaptado (GENTIL, 2011)

2.2.1.4 - Puntiforme ou Pites

Dá-se em pequenas áreas ou em pontos presentes na superfície, ao contrário do alveolar, a profundidade é maior do que seu diâmetro (GENTIL, 2011).

Neste caso se trata de uma forma de corrosão localizada, que agride a estrutura ocasionando o aparecimento de cavidades parcialmente profundas, esta também pode agir como região de concentração de solicitações mecânicas, ajudando a corrosão sob tensão (GENTIL, 2011).

Este tipo de corrosão torna mais perigoso quando, a relação área catódica/ área anódica for crescente (CASCUDO, 1997).

Segundo Cascudo (1997) apud HACK (1986), a corrosão puntiforme é um tipo de corrosão localizada, no qual há a formação de pontos de desgaste definidos na superfície metálica, os quais evoluem aprofundando-se, podendo causar a ruptura pontual da barra.

A seguir a figura 7 representa a corrosão por pite em perfil.

Figura 7: Corrosão por Pite



Fonte: Adaptado (AUTOR, 2014)

2.2.1.5 - Intergranular

A corrosão se processa entre os grãos da rede cristalina do material (Ver figura 8), como consequência perdendo suas propriedades mecânicas, assim podendo fraturar quando solicitado por esforços (GENTIL, 2011).

Figura 8: Corrosão Intergranular

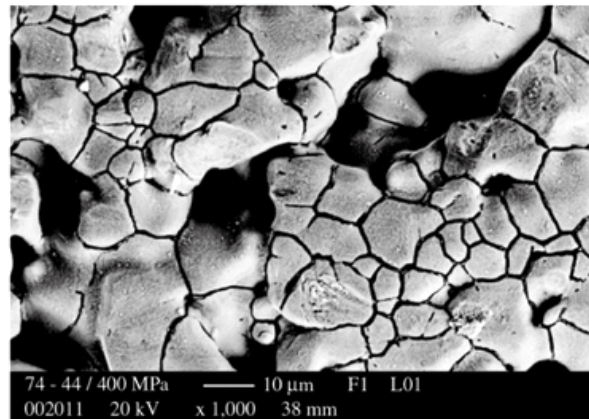


Figure 3. Scanning electron micrograph of filter (prepared with powder in the size range 74-44 μm and compacted at 400 MPa) after 180 hours of immersion in naturally aerated 0.5M H_2SO_4 solution.

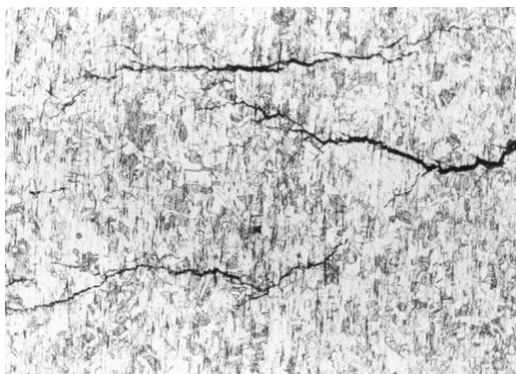
Fonte: Adaptado (BARBOSA e COSTA, 2014)

Legenda: fotografia microscópica de varredura electrónica de filtro (preparada com o pó no intervalo de tamanho (74 - 44) μm e compactado em 400 MPa) depois de 180 horas de imersão em naturalmente **acrated** 0,5 M H_2SO_4 solução.

2.2.1.6 - Transgranular

Diferente do tipo anterior, este se processo nos grãos da rede cristalina (Figura 9) do material metálico, onde perdendo suas propriedades mecânicas, poderá fraturar ao menor esforço possível (GENTIL, 2011).

Figura 9: Corrosão Transgranular



Fonte: Adaptado (GENTIL, 2011)

2.2.1.7 - Filiforme

Segundo Gentil (2011), este tipo ocorre sob a forma de finos filamentos, mas não profundos, que se propagam em diferentes direções e que não se ultrapassam, pois admite-se que o produto de corrosão, em estado coloidal, apresenta carga positiva, daí a repulsão. (Ver Figura 10)

Figura 10: Corrosão Filiforme



Fonte: Adaptado (GENTIL, 2011)

2.2.1.8 - Esfoliação

Processa-se paralelamente a superfície metálica (Figura 11). Ocorre em materiais que tiveram seus grãos alongados e achatados devido a esforços mecânicos, em plaquetas alongadas Gentil (2011).

Figura 11: Corrosão por Esfoliação



Fonte: Adaptado (GENTIL, 2011)

2.2.1.9 – Grafítica

Ocorre em ferro fundido cinzento em temperatura ambiente e o ferro metálico gera o produto de corrosão, restando uma camada escura devido a grafite Gentil (2011). (Ver Figura 12).

Figura 12: Corrosão Grafítica



Fonte: Adaptado (GENTIL, 2011)

2.2.1.10 – Dezincificação

É a corrosão que ocorre em ligas de cobre (Cu)-zinco (Zn) (latões), onde nestes locais é visualizado o aparecimento de cores avermelhadas, a seguir na figura 13. Este fato ocorre devido a uma corrosão preferencial do zinco, e a cor vista é a característica do Cu Gentil (2011).

Figura 13: Corrosão Dezincificação



Fonte: Adaptado (GENTIL, 2011)

2.2.1.11 - Empolamento pelo Hidrogênio

O hidrogênio atômico que penetra no interior do aço da armadura, devido ao baixo volume atômico, se propaga, se transformando em hidrogênio, exercendo pressão e originando bolhas, acarretando a perdas de ductibilidade e possível fratura da armadura Gentil (2011). (Ver Figura 14).

Figura 14: Corrosão por Empolamento pelo Hidrogênio



Fonte: Adaptado (GENTIL, 2011)

2.2.1.12 - Em torno do cordão de solda

Neste caso (Figura 15) ocorre envolta de cordões de solda. Onde a ocorrência se dá em aços inoxidáveis não estabilizados ou com teores de carbono maiores que 0,03% Gentil (2011).

Figura 15: Corrosão Em torno do cordão de solda



Fonte: Adaptado (GENTIL, 2011)

2.3 - CORROSÃO NA ARMADURA DO CONCRETO ARMADO

Na armadura do concreto armado não ocorrem todas as formas de corrosão anteriormente descritas. Figueiredo; Meira, (2013), afirma que os tipos de corrosão que acontecem com mais frequência nesse material é, a uniforme e por pite.

Para RIBEIRO et al. (2014), a corrosão nos metais, esse material que compõe a armadura do concreto armado, ocorre da necessidade do mesmo em se estabilizar. Na qual todo esse processo vem a se desenvolver quando em contato com o meio ambiente, a armadura passa a reagir espontaneamente. O ferro reage com o meio, se transforma em Fe_2O_3 , que apresenta um estado menor de energia. Porém, para que tudo isso anteriormente aconteça, o oxigênio e o hidrogênio (agentes oxidantes), devem interagir com a superfície metálica, recebendo elétrons, passando a caracterizar a reação de redução. Haja vista, que o consumo de elétrons se dar no cátodo devido a uma ação anterior de oxidação no anodo. Com isso, pode-se dizer que quando o material se oxida, o mesmo estará perdendo elétrons e se transformando em cátion, que se desprende da estrutura metálica passando assim a dissolução do metal.

Segundo Cascudo (1997) apud Helene (1986), para que a corrosão das armaduras no interior do concreto se desenvolva são necessárias as seguintes condições:

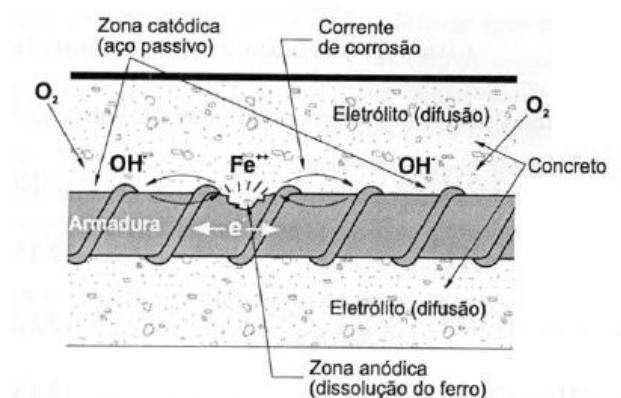
2.3.1 - Deve existir um eletrólito: meio onde ocorrem pilhas ou células de corrosão de natureza eletroquímica, que irá conduzir os íons, gerando uma corrente de natureza iônica e, também, para dissolver o oxigênio. O eletrólito, no concreto, é constituído basicamente pela solução aquosa que contém íons em solução (podendo ser fraco, ou seja, com poucos íons, ou forte, com muitos íons).

2.3.2 - Deve existir uma diferença de potencial - (ddp): entre dois pontos aleatórios da armadura, seja pela diferença de umidade, aeração, concentração salina, tensão do concreto e/ou no aço, impurezas no metal, heterogeneidades inerentes ao concreto, pela carbonatação ou pela presença de íons.

2.3.3 - Deve existir oxigênio: que regulará todas as reações de corrosão, dissolvido na água presente nos poros do concreto. Ou seja, o mesmo é responsável na formação do óxido de ferro (ferrugem). Além de que seu processo de redução ajudará no consumo de elétrons das áreas anódicas, além de compor a formação do OH^- que irá reagir com os íons de ferro (CASCUDO, 1997).

A seguir a figura 16 representa o mecanismo da pilha eletroquímica, que ocorre na armadura do concreto.

Figura 16: Pilha eletroquímica na armadura do concreto



Fonte: Adaptado (HELENE; CUNHA, 2001)

Segundo Cascudo (1997), a corrosão se desenvolve com a presença das seguintes reações:

Nas zonas anódicas (corroídas): ocorrem as reações de dissolução do ferro (oxidação). (Ver Equação 3).



Nas zonas catódicas (não corroídas): ocorrem as reações de redução de oxigênio (Equação 4).



A partir disso, os íons Fe^{2+} migram pelo eletrólito em direção ao cátodo e os íons hidroxila (OH^-), migram em direção ao ânodo. (Ver Equação 5).



2.3.1 - Película de Passivação

Para Cascudo (1997), a Armadura no interior do concreto encontra-se em meio altamente alcalino (pH em torno de 12,5). Este fato provém da fase líquida constituinte dos poros do concreto, a qual, no início de sua vida útil, é uma solução saturada de hidróxido de cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Portlandita).

O diagrama de potencial versus pH do sistema ferro-água de Pourbaix citado por Cascudo (1997) e Helene e Cunha (2001), mostra que para ordem de grandeza do pH, em 12,5 no concreto e para uma faixa de potencial de corrosão, também no concreto da ordem de +0,1 a -0,4V em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio, as reações de eletrodo verificadas no ferro são de passivação. Com isso Cascudo (1997), afirma que a armadura estará protegida do fenômeno da corrosão, devido à presença de uma película protetora ou película de passivação.

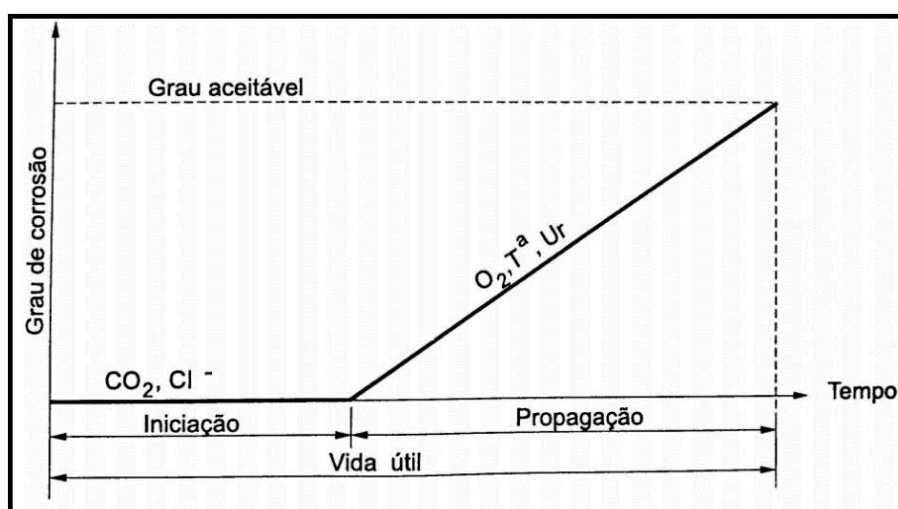
A frente (Equação 7) é mostrado a combinação da ferrugem superficial Fe(OH)_3 com o Hidróxido de cálcio, que é dito por Cascudo (1997) apud Helene (1986), como prováveis constituintes da película de passivação.



2.3.2 - Período de Iniciação

O concreto armado, como já se comentou anteriormente, apresenta grande versatilidade, na qual desempenha papel fundamental durante a execução e tempo de durabilidade da estrutura, isto que se nomeia de período de Vida Útil. Com os estudos sobre a corrosão, percebeu-se que o tempo de duração delas se dividiam em dois momentos (Figura 17). O de iniciação: que consiste a fase de execução do projeto, ação dos mecanismos de degradação, reparos da estrutura, chegando a despassivação da armadura dando-se início ao processo corrosivo; Já o segundo momento, é o período de propagação desta patologia, sofrendo influência e acelerando a degradação da armadura e conseqüentemente do concreto, por meio da ação do oxigênio, da temperatura e umidade. Neste caso, é quando a estrutura entra em colapso vindo a se destruir totalmente, e para solucionar o problema o que deve-se fazer é a construção de uma nova estrutura.

Figura 17: Modelo de Vida Útil proposto por TUTTI



Fonte: Adaptado (CASCUDO, 1997)

Segundo Mota et al. (2012) apud Helene (1993) nesse período temos duas situações:

Período que vai até o momento em que aparecem manchas na superfície do concreto, ou ocorrem fissuras no concreto de cobrimento, ou ainda quando há o destacamento do concreto de cobrimento. A esse período de tempo associa-se a chamada vida útil de serviço ou de utilização.

Período de tempo que vai até a ruptura e colapso parcial ou total da estrutura. A esse período de tempo associa-se a chamada *vida* útil total. Corresponde ao período de tempo no qual há uma redução significativa da secção resistente da armadura ou uma perda importante da aderência armadura/concreto.

A película passiva como já foi ressaltado anteriormente, é a grande defesa da armadura. Porém, segundo Cascudo (1997), ela pode ser perdida se duas condições básicas vierem acontecer, que são estas:

2.3.2.1 - Presença de quantidade suficiente de íons cloreto

Os quais podem vir tanto do meio externo e atingir a armadura por difusão, quanto podem já estar no interior do concreto devido à água de amassamento e/ou agregados contaminados.

2.3.2.2 - Diminuição da alcalinidade do concreto

Isto pode se dar devido à principalmente às reações de carbonatação ou mesmo à penetração de substâncias ácidas no concreto.

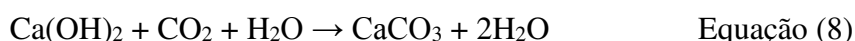
2.3.3 – Carbonatação

Segundo Cascudo (1997), carbonatação é o fenômeno de redução da alcalinidade pela ação do CO_2 .

Este processo é visto como a condição essencial para que a corrosão venha a atingir a armadura. O material metálico ele necessita da alta alcalinidade, em faixa de pH acima de 12,5 (neste caso se mantém devido a presença de hidróxido de cálcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, liberados no processo de hidratação do cimento, presente nos poros) assim fazendo com que sua película permaneça passivada e conseqüentemente protegida.

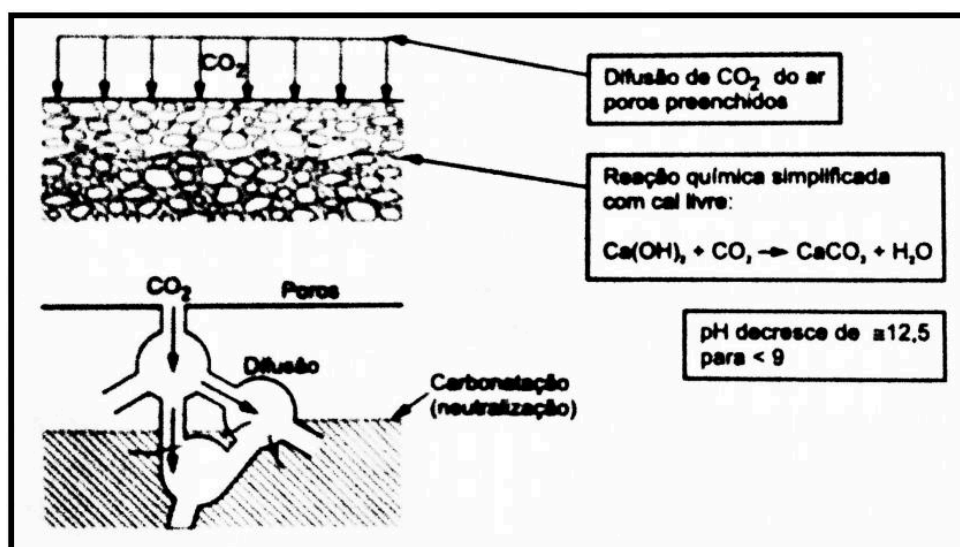
Entretanto, este pH ele pode ser reduzido com o tempo e isso acontece devido a carbonatação, que ocorre principalmente devido a presença do CO_2 , além de outros ácidos, tais como SO_2 e H_2S (CASCUDO, 1997); (RIBEIRO et al., 2014); (HELENE; CUNHA, 2001).

A reação que define a redução da alcalinidade pela ação do CO_2 , em presença de umidade, é representada a seguir (Equação 8) (RIBEIRO et al., 2014).



Segundo Ribeiro et al. (2014), o CO_2 penetra nos poros do concreto, dilui-se na umidade presente na estrutura e forma o composto chamado (H_2CO_3). O carbonato de cálcio não deteriora o concreto, porém, durante a sua formação, consome os álcalis da pasta (CH e C-S-H) e reduz o pH. (Ver figura 18)

Figura 18: Esquema de difusão do CO_2

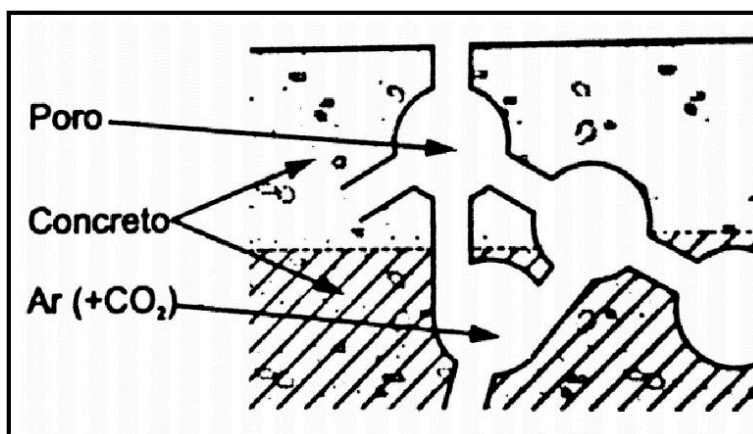


Fonte: Adaptado (CASCUDO, 1997)

A taxa de difusão do CO_2 depende diretamente da porosidade do concreto e se à presença de água ou não, veja a seguir:

Neste caso da figura 19, onde os poros estão secos a difusão não ocorrerá, devido à falta de água a carbonatação não será possível.

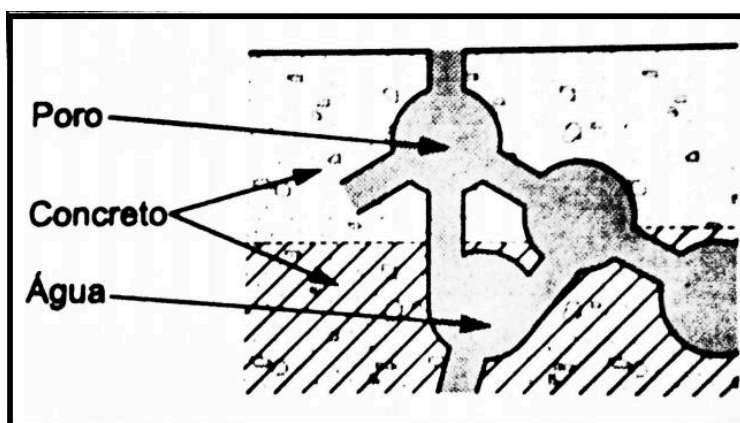
Figura 19: Poros secos



Fonte: Adaptado (CASCUDO, 1997)

Quando os poros estiverem completamente cheios, não haverá carbonatação, devido à baixa difusão do CO₂. A representação pode ser vista na figura 20.

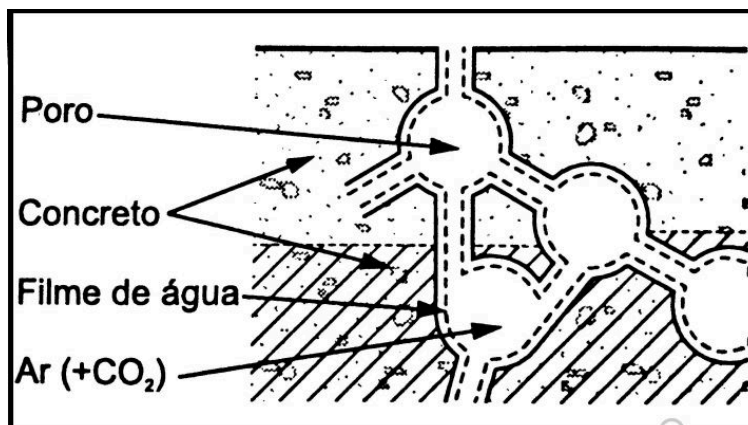
Figura 20: Poros completamente cheio de água



Fonte: Adaptado (CASCUDO, 1997)

Neste caso, da figura 21, onde os poros tem parcialmente a presença de água, é a condição mais eficaz para o processo de carbonatação, haja vista, que à presença do espaço necessário para a difusão e quantidade de água suficiente para satisfazer a reação (CASCUDO, 1997).

Figura 21: Poros parcialmente preenchidos com água

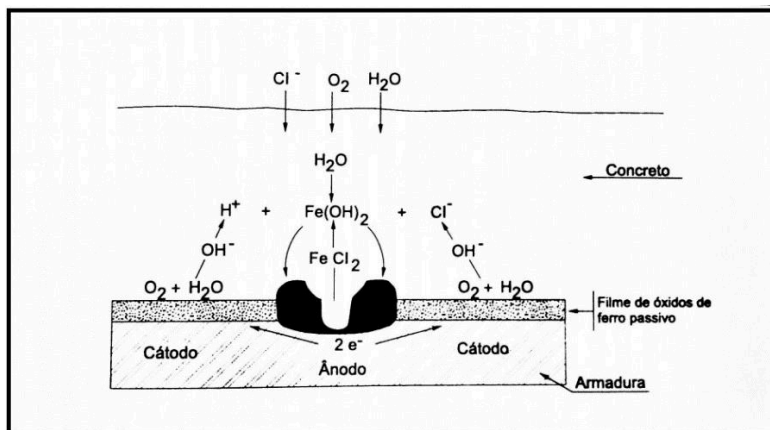


Fonte: Adaptado (CASCUDO, 1997)

2.3.4 -Ação dos cloretos (Cl^-)

Os cloretos são os agentes agressivos que mais contribuem para a corrosão na armadura do concreto (Figura 22), onde o mesmo pode se apresentar no interior deste, por meio da introdução intencional, como agente acelerador de pega e endurecimento de agregados e água de amassamento contaminada (CASCUDO, 1997).

Figura 22: Corrosão por Pite



Fonte: Adaptado (CASCUDO, 1997)

O seu transporte para o interior do concreto, se dá através dos seguintes mecanismos: absorção capilar, difusão iônica, permeabilidade sob pressão e migração iônica. Porém, Cascudo (1997) informa que em grande maioria dos casos, os

mecanismos de transporte de cloretos presentes no concreto são a absorção capilar e a difusão iônica.

Absorção capilar: é quando os agentes agressivos (no caso refere-se ao cloreto), onde entram em contato com a parte superficial do concreto, assim penetrando nos poros, que por meio de sua estrutura pode influenciar na velocidade de transporte (CASCUDO, 1997).

Difusão iônica: depois de entrar nos poros, a difusão passa a ser responsável pelo movimento do mesmo, haja vista que há uma grande presença de umidade. Esta difusão se dá pela diferença de concentração iônica, fazendo com que os mesmos procurem o equilíbrio.

Segundo Cascudo (1997), a penetração de íons cloreto não é visível, não reduz a resistência do concreto e não altera a sua aparência superficial.

2.5 - MEIOS CORROSIVOS

Um dos principais fatores que devem ser observados quando se inicia estudos sobre a corrosão nas estruturas de concreto armado, é o ambiente em que a mesma está localizada, haja vista, que de acordo com a ABNT (2004), cada local tem sua classe de agressividade, assim como pode ser observada na tabela 1.

Tabela 1: Classes de Agressividade do Ambiente

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracá	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Adaptada ABNT (2004)

A seguir estão descritos os tipos de ambientes e suas classificações de acordo com suas agressividades, além dos tipos de atmosferas que podem ser: rural, urbana, marinha, industrial e viciada (RIBEIRO et al., 2014 apud HELENE, 1993).

2.5.1 - Atmosfera rural: é considerado um ambiente com ação de agressividade fraca as armaduras, haja vista que é uma região de ar livre e distante de fontes poluidoras assim apresentando baixo teor de poluentes. A presença de CO_2 é desprezível, este que é um dos principais responsáveis pela corrosão do concreto, a qual origina a carbonatação.

2.5.2 - Atmosfera urbana: este tipo de ambiente é aquele que representa as cidades, é uma região de ar livre onde há impurezas em forma de óxidos de (SO_2) , além da presença de agentes agressivos ao concreto como CO_2 . Outro fator que deve chamar a atenção é a umidade do ar, onde é considerado um dos que mais afetam a velocidade de corrosão, ressaltando que a umidade relativa nestes locais é de 75%, a uma temperatura de 25 °C, e é considerada crítica.

2.5.3 - Atmosfera marinha: consideram-se estes ambientes aqueles sobre o mar e perto da costa, onde se encontra grandes porções de cloretos (Cl^-) e sulfatos (SO_4^{2-}), estes apresentam grande importância na agressividade de estruturas de concreto. Já os gases agressivos só são relevantes se houver a presença de indústrias locais, ou se este ambiente sofrer grande interferência da área urbana.

2.5.4 - Atmosfera industrial: são locais abertos que apresentam contaminação devido à presença de gases e cinzas, sendo que os mais frequentes são: H_2S , SO_2 e NOX . Além disso, este tipo de atmosfera acelera o processo de corrosão de 60 a 80 vezes, comparado à primeira atmosfera citada.

2.5.5 - Atmosfera viciada: são locais fechados onde não apresenta renovação constante do ar, onde com o aumento da concentração de gases acarretará na agressividade das armaduras de concreto. Exemplos: Coletores e interceptores de esgoto;

2.6 – PROTEÇÃO

De início à armadura presente no concreto armado apresenta um aliado em sua formação, este que seu próprio nome refere-se, que é o concreto. Além de desempenhar o papel na parte estrutural de absorção de forças de compressão, também é responsável em proteger a armadura presente em seu interior, assim fazendo com que aumente sua durabilidade e vida útil, que segundo a ABNT (2004) este primeiro é a capacidade de uma estrutura resistir a influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto. A Tabela 2 da ABNT (2004) que se relaciona a tabela 1, indica qual espessura de concreto deve se utilizar para cada ambiente.

Tabela 2: Classe de agressividade e cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: Adaptada (ABNT, 2004)

2.7 – REPAROS

As recuperações feitas nas estruturas são práticas necessárias que tem como objetivo aumentar a vida útil das mesmas.

Partindo das formas de reparos sugeridas na literatura de CASCUDO (1997), será descrita algumas formas de importantes que contribuem para estender a durabilidade nas estruturas de concreto armado.

2.7.1 – Reparos localizados: consiste na reforma do local onde está ocorrendo ação de mecanismos de corrosão. Onde a área é limpa deixando a armadura exposta, aplicando uma tinta de resina epóxi, haja vista que a mesma apresenta grande capacidade de aderência e resistência química e mecânica. Estas pinturas são ricas em zinco, onde o mesmo na superfície da armadura servindo como ânodo de sacrifício.

Para o fechamento do local de reparo e realcalinizando-o deve-se utilizar concreto microestrutural (Grautes), haja vista que o mesmo apresenta vantagens que satisfaz ao conserto desta manifestação patológica.

A seguir serão citadas algumas vantagens presente na literatura (TULA, OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2002).

- Maior facilidade para preencher vazios e cavidades com elevada concentração de armaduras, sem deixar vazios ou bolsões de ar;
- Menores prazos de execução, haja vista que sua secagem é rápida;
- Maior proteção contra a corrosão, devido à baixa permeabilidade, destacando-se que, em geral, nas seções de reparo ou reforço estrutural são utilizados cobrimentos menores;
- Expectativa de uma melhor qualidade nos trabalhos e consequente alto desempenho dos elementos grauteados, sob severas condições de serviço.

Tula, Oliveira e Oliveira (2002) ainda informa que a expansão controlada ou, conforme o produto, a simples compensação da retração, garante a estabilidade volumétrica e impede a existência de vazios, propiciando perfeita aderência e compacidade.

2.7.2 – Reparos Generalizados: para esta forma de reparo, consiste a mesma metodologia e procedimento feito no item anterior. Entretanto, o que diferencia uma da outra é que neste caso o reparo se dá em uma área maior, e a situação de deterioração está bastante avançada.

Em casos onde o cloreto ou a frente de carbonatação não atingiu a armadura faz-se a remoção do concreto superficial por motivo preventivo (TULA; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2002).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para fazer o estudo de caso de uma armadura de concreto armado, no qual, por ele, passa um Canal de água localizado no centro da cidade de Caraúbas/RN.

3.2 - MATERIAIS / VIDRARIAS

Foi utilizado: Martelo, Bekers, Elemayers, Bureta, Pipetas, Suporte Universal, Filtro qualitativo (Marca J.Prolab, espessura de 205 μm , com permeabilidade de 14 l/sm^2), Filtro quantitativo (Da marca J.Prolab, espessura de 28 μm , com permeabilidade de 55 l/sm^2).

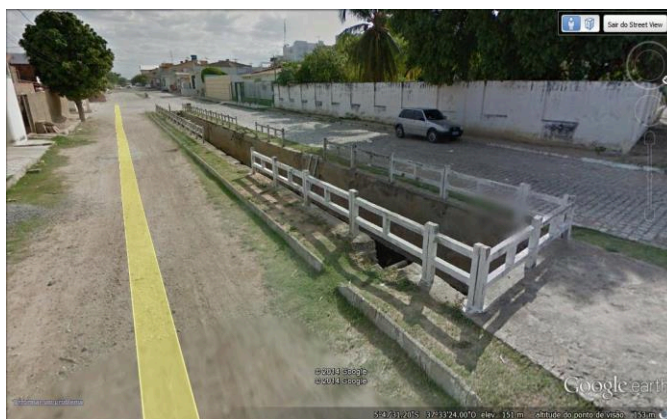
3.3 - REAGENTES

Fenolftaleína; solução de AgNO_3 (Nitrato de prata) 0,1 M padronizado; Água destilada; solução de cromato de potássio. Todos os reagentes são da marca Vetec.

3.4 – AMOSTRAGEM

A Figura 23, mostra a armadura de concreto armado, no qual foi retirado três amostras, onde, por ela, passa um esgoto a céu aberto localizada no centro da cidade de Caraúbas/RN.

Figura 23: Canal de Caraúbas com sua proteção destruída



Fonte: Adaptado (GOOGLE EARTH, 2014)

3.5 – MÉTODOS UTILIZADOS

Para detecção da corrosão usou-se os métodos descritos na literatura de Cascudo (1997), na qual se refere ao Método da Análise de Carbonatação e o método da avaliação do teor de cloreto. Esses experimentos foram iniciados com a visita ao Canal de Caraúbas no dia 16/06/2014, na cidade de Caraúbas-RN. O mesmo apresenta a manifestação patológica de Corrosão na estrutura de concreto que serve como proteção do Canal.

3.5.1 – Análise Qualitativa

Os sinais mais frequentes e indicadores da corrosão no concreto são: manchas acastanhadas sobre a superfície do concreto, fissuração, desagregação e eflorescências (RIBEIRO et al., 2014 e CASCUDO, 1997). Com este método, foi possível fazer um estudo preliminar permitindo observar os problemas oriundos da corrosão no concreto armado causado pelo processo de carbonatação.

- Fissuras no concreto paralelas a armadura;
- Fragmentação e destacamento do cobrimento;
- Lascamento do Concreto com estágios avançados;
- Exposição das armaduras corroídas.

3.5.2 - Método de Análise da Carbonatação

Antes de iniciar os testes foi feito uma análise visual do problema que foi descrito por Cascudo (1997).

3.5.2.1 – Análise da Carbonatação do Concreto

O método para avaliara a resistência à carbonatação é através de indicadores químicos, são eles: a fenolftaleína, timolftaleína ou outro reagente que indique a mudança de pH entre 6,5 e 10,5. No presente trabalho foi aplicado fenolftaleína no concreto da armadura para observação da existência de carbonatação. Haja vista que o

mesmo indica pH com coloração vermelha abaixo de 7, e o contrário disso fica incolor. (BACCAN et al. 2001)

3.5.3 – Método de Avaliação do teor de Cloretos

Para os pesquisadores França (2011) apud Andrade (1992), França (2011) apud Helene (1993) e França (2011) apud Figueredo (1994), apenas os cloretos livres são os agentes nocivos à armadura. Devido à importância e a necessidade de avaliar a presença dos íons cloretos no concreto e na argamassa, existem diferentes métodos de análises, alguns deles baseiam-se em análises qualitativas e outros em análises quantitativas. Esses métodos são de grande auxílio principalmente quando deseja-se saber se há cloretos na estrutura. O método de aspersão de nitrato foi desenvolvido por Dr. Mário Collopari em 1970. No presente trabalho, a análise para a quantificação de cloreto foi a volumetria por precipitação de acordo com os seguintes passos:

1. Separação de 3 amostras de concreto, sendo trituradas com o uso de um martelo e colocadas em diferentes Beckers. Foi adicionando água nos mesmos com o objetivo de solubilizar o cloreto presente em cada amostra;
2. 9 dias depois, o sobrenadante foi filtrado com filtro qualitativo, em seguida com o filtro quantitativo;
3. Em seguida as amostras foram tituladas com uma solução padronizada de nitrato de prata 0,09679M. (Figura 24)

Obs: No item 2, deixou-se 9 dias para obtenção do máximo de cloreto possível.

3.5.3.1 – Análise Volumétrica

A determinação de cloreto foi feita utilizando uma solução padronizada de nitrato de prata (0,09679M) e um indicador cromato de potássio (0,1 M) (K_2CrO_4).

3.5.3.2 – Método de Morh

Método de Mohr (Figura 24) é um método titrimétrico por precipitação, que tem como indicador o Cromato de Potássio K_2CrO_4 , e consiste na precipitação de íons

Cl^- e Br^- através da adição de nitrato de prata AgNO_3 formando precipitados brancos insolúveis de AgCl(s) e AgBr(s) . Quando se atinge o ponto de equivalência, toda a amostra reagiu quantitativamente com o nitrato, e, ao adicionar uma gota em excesso do padrão de prata, este excesso reage com o indicador de cromato de potássio fazendo com que o precipitado branco se torne um precipitado marrom-avermelhar e a solução adquira um aspecto creme. (SKOOG et al., 2006)

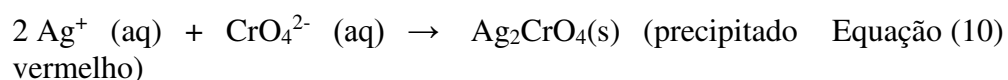


Figura 24: Método de Mohr



3.5.4 Método de aspersão de solução de nitrato

Foi Aspergida solução de nitrato de prata 0,1 M em apenas uma das amostras e expostos ambiente iluminado para que a solução de nitrato de prata pudesse reagir com a presença de cloretos. (FRANÇA, 2012)

4 RESULTADOS

Neste tópicos será avaliado a corrosão no concreto armado, através do método de indicadores químicos, aspersão de solução de nitrato e determinação cloreto pelo método de Mohr. As Figuras 25-27 mostram as amostras coletadas no Canal de Caraúbas.

Figura 25: Amostra 1



Figura 26: Amostra 2



Figura 27: Amostra 3



4.1 – ANÁLISE VISUAL

Inicialmente foi feito uma análise visual do Canal de Caraúbas. Podendo observar os seguintes problemas mostrados a seguir.

4.1.1 – Fissuras no concreto paralelas a armadura

Seguindo os passos descrito na literatura de Cascudo (1997), onde de início faz uma análise visual, esta permitiu perceber a presença de fissuras paralelas as armaduras (Figuras 28-29) presentes no interior de concreto, este que é considerado o primeiro indicador do processo corrosivo.

Figura 28: Fissuras paralelas 1



Figura 29: Fissuras paralelas 2



4.1.2 – Fragmentação e destacamento do cobrimento

Neste tópico, onde pode ser visto nas figuras 30 e 31, o que é dito por Cascudo (1997) como segundo indicador da manifestação patológica, se apresentando em estado avançado em toda a estrutura de proteção do Canal de Caraúbas.

Figura 30: Proteção de todo o canal fragmentado e com destacamento



Figura 31: Estágio avançado de fragmentação



4.1.3 - Lascamento do Concreto com estágios avançados

O lascamento (Figura 32), é considerado como o terceiro indicador por Cascudo (1997) para se decretar o avanço do processo corrosivo. Pode-se perceber que no local de análise a estrutura apresenta estágios avançados de lascamento.

Figura 32: Lascamento



4.1.4 – Exposição das armaduras corroídas

Por último, na análise visual deve-se observar se à presença de armaduras expostas como informado por Cascudo (1997). E seguindo estes passos, percebe-se na Figura 33 o quarto indicador se apresenta, mostrando que a corrosão está agindo de forma eficaz, contribuindo para a degradação da proteção do local.

Figura 33: Armaduras expostas



4.2 – ANÁLISE DA CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

O teste foi feito com um indicador químico, fenolftaleína. De acordo com Baccan et al. (2001) se o pH da amostra estiver a partir de 7 a coloração será rosa avermelhada, caso contrário, a coloração ficará incolor, indicando que a amostra, o concreto, está carbonatada, logo, o processo corrosivo ocorrerá mais facilmente. A Figura 34 mostra que há nas três amostras coletadas há carbonatação. Se compararmos com a Figura 35 podemos ver que, se o meio estiver com pH acima de 7, solução de NaOH, a coloração fica rosa avermelhada.

Figura 34: Presença de carbonatação.



Figura 35: Coloração Rosa avermelhada



4.3 – TESTE DO TEOR DE CLORETO NO CONCRETO

O teor de cloreto foi feito, como descrito no item 3.5.2. Segundo França (2012) apud Andrade (1992), a situação mais agressiva e também responsável pelo maior número de casos de corrosão de armaduras é a presença de cloretos. A análise volumétrica mostra que foi encontrado cloreto nas três amostras coletadas, como mostra a Tabela 3.

Com a análise de pH, segundo Bacan (2012), as amostras se apresentaram dentro do limite necessário, este que é 6,5 e 10,5.

Tabela 3: Valores da análise do teor de cloreto presente nas amostras

Amostra (volume)	Volume gasto (mL)	Molaridade (M)	Concentração g/L	Massa (g)
1 (100 mL)	1,35	$7,26 \times 10^{-4}$	0,026	0,026
2 (100 mL)	1,30	$6,7753 \times 10^{-4}$	0,024	0,024
Branco (100 mL)	0,6	-	-	-

Tabela 4: Dados refinados da análise de teor de cloreto

Volume (mL)	Média do volume gasto (mL)	Média da Molaridade (M)	Média da concentração (g/L)	Média da massa (g)	Desvio padrão da molaridade
100	1,325	7.01765×10^{-4}	0,025	0,025	$0,24 \times 10^{-4}$

Obs: O volume gasto representado na tabela, é AgNO_3 , este que é a solução padrão na titulação do cloreto.

A Tabela 5, abaixo mostra que, no Brasil é permitido 1000 mg/L, ou 1,0 g/L, de cloreto em relação a água de amassamento, para estruturas de concreto armado.

Tabela 5: Teor máximo de cloreto em água de amassamento

Uso Final	Teor máximo de cloreto mg / L	Procedimento de ensaio
Concreto Protendido ou Graute	500	ABNT NBR 15900-6
Concreto Armado	1000	
Concreto Simples (sem armadura)	4500	

Fonte: Adaptada ABNT (2009)

Para Mota et al. (2012) apud Al-Gahtani; Rasheeduzzafar; Hussan (1994) o principal fator controlador da despassivação das armaduras é a relação Cl^-/OH^- . A NBR 15900-1 (2009) não fixa limite, apenas diz que o mecanismo preponderantes de deterioração relativa à armadura, despassivação por elevado teor de cloretos, ou seja, por penetração de cloretos através de processo de difusão e impregnação ou de absorção capilar de águas contendo teores de cloreto, que superam, na solução dos poros de concreto, em certo limite em relação a concentração de hidroxilas, despassivam a superfície do aço e instalam a corrosão.

Como pode ser visto, a concentração de cloreto nas amostras estão bem abaixo do permitido pela NBR 15900-1 (2009), haja visto que é 0,026 g/L, logo o Canal de Caraúbas não tem a presença de corrosão localizada (por pite) (CASCUDO, 1997). A reação a seguir mostra a reação do nitrato de prata com o cloreto, presente na amostra, formando o cloreto de prata insolúvel no meio aquoso.

4.4 TESTE DE ASPERSÃO DE SOLUÇÃO DE NITRATO PRATA

O teste foi feito aspergindo solução de nitrato de prata em uma das amostra. A Tabela 6, mostra os critérios adotado para a avaliação de cloretos livres e combinados com base na norma UNI 7928: (1978).

Tabela 6: Designação dos cloretos em relação à coloração dos corpos-de-prova

COLORAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO CORPO-DE-PROVA	DESIGNAÇÃO
Branca	Presença de cloretos livres
Marrom	Ausência de cloretos livres

Adaptada UNI 7928: 1978

Figura 36: aplicação do nitrato de prata para a avaliação da presença de cloretos.



A seta na Figura 36 mostra uma coloração esbranquiçada que de acordo com a Tabela 6, indica a presença de cloretos livres.

5. CONCLUSÃO

Na análise visual observou-se corrosão uniforme (exposição da armadura), fragmentação e lascamento. Visto isso, ao que é dito na literatura e a aplicação de fenolftaleína (mostrou que havia presença de carbonatação), pode-se informar que a carbonatação auxilia na corrosão das armaduras, para o tipo uniforme. Assim fazendo com que essa perda aderência e o processo de degradação no concreto seja iniciado.

Já a ausência de corrosão por pite está relacionada com os resultados da análise de teor de cloreto pelo método de mohr, pois percebeu-se que a quantidade de cloreto está abaixo do que é permitido na norma ABNT NBR 15900-6, assim relacionando que este tipo de corrosão não veio a se manifestar no local de estudo devido ao baixo teor de cloreto.

E para confirmar o que foi obtido no método de mohr para análise de cloreto, fez-se uma segunda análise, onde consistiu na aspersão de cloreto nas amostras onde por meio de observações percebeu-se a pequena quantidade de partes brancas, mostrando que a presença de cloreto estava baixa, como dito nos resultados da primeira análise.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: Abnt, 2004. 221 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **15900-1**: Água para amassamento do concreto. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2009. 11 p.

AUTOR, Sem. **Estruturas metálicas**: Corrosão. Disponível em: http://grupo2metalica.no.comunidades.net/index.php?pagina=1601249529_02>. Acesso em: 12 abr. 2014.

AUTOR, Sem. **EPÓXIPISO**: Pisos Pinturas e Revestimento. Disponível em: <<http://www.epoxipiso.com.br/2012/11/formas-de-corrosao.html>>. Acesso em: 12 abr. 2014.

BACCAN, Nivaldo et al. **Química analítica quantitativa elementar**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2001.

BARBOSA, Luzinete Pereira; COSTA, Isolda. **A avaliação da resistência à corrosão de AISI 316 filtros de aço inoxidável**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392005000200013>. Acesso em: 13 abr. 2014.

BERTOLINI, Luca et al. Mechanisms of Corrosion. In: BERTOLINI, Luca et al. **Corrosion of Steel in Concrete**. Weinheim: Wiley-vch Verlag Gmbh & Co, 2004. Cap. 4. p. 1-8.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **CONCRETO ARMADO EU TE AMO**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

CASCUDO, Oswaldo. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**: Inspeção e técnicas eletroquímicas. Goiânia: Ufg, 1997. 240 p.

FIGUEIREDO, Enio J. Pazini; MEIRA, Gibson Rocha. **Corrosão das armaduras de concreto**. México: Alconpat Internacional, 2013. (06 Boletim Técnico).

FRANÇA, Alessandra A. V. et al. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. **TÉchne**, São Paulo, v. 174, p.0-98, set. 2011. Artigos.

FRANÇA, Clério Bezerra de. **AVALIAÇÃO DE CLORETOS LIVRES EM CONCRETOS PELO MÉTODO DE ASPERSÃO DE SOLUÇÃO DE NITRATO DE PRATA**. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2011.

GENTIL, Vicente. **Corrosão e anticorrosivos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011. 360 p.

HELENE, P.R.L; CUNHA, A.C.Q da. **Despassivação das armaduras de concreto por ação da carbonatação**: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: Epusp, 2001. 17 p

HELENE, P., 2009, “Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto”. Ed. Pini, São Paulo.

MOTA et al., Corrosão de Armadura em Estruturas de Concreto Armado devido ao Ataque de Íons Cloreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54., 2012, Maceió. **Anais do 54 congresso brasileiro do concreto**. Maceió: Ibracon, 2012. p. 1 - 16.

PINHEIRO, Libânio M. et al. **ESTRUTURAS DE CONCRETO: INTRODUÇÃO**. São Paulo: Dep. Eng Estruturas, 2010. Cap. 1. p. 1-10. Notas de Aula.

POLITO, Giuliano. **CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: CAUSAS, MECANISMOS, PREVENÇÃO E RECUPERAÇÃO**. 2006. 192 f. Monografia (Especialização) - Curso de Avaliação e Perícia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura**. São Paulo: Zigurate, 2000. 272 p.

RIBEIRO, Daniel Vêras et al (Org.). **Corrosão em estruturas de concreto Armado**: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 272 p.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SKOOG et al. **Fundamentos de Química Analítica**. 8. ed. São Paulo: Thomson, 2006. Tradução da 8ª Edição norte-americana

TULA, Leonel; OLIVEIRA, Paulo Sérgio Ferreira; OLIVEIRA, Roberto R. de. **Grautes**. São Paulo: Pini, 2002.

UNI. Determination of Chloride Ion Penetration, Italian Standard 7928, Rome, Ano 1978

WIGHT, James K.; MACGREGOR, James G.. Introduction. In: WIGHT, James K.; MACGREGOR, James G.. **REINFORCED CONCRETE**: Mechanics and Design. 15. ed. New Jersey: Pearson, 2009. Cap. 1. p. 1-11.

.

