



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**REIZILENE NOGUEIRA COSTA
SHIRLANE ALVES DA SILVA**

**ANÁLISE DE CORROSÃO EM ESTRUTURA DE CONCRETO
ARMADO**

PUBLICAÇÃO N°: 12

**GOIANÉSIA / GO
2020**



**REIZILENE NOGUEIRA COSTA
SHIRLANE ALVES DA SILVA**

**ANÁLISE DE CORROSÃO EM ESTRUTURA DE CONCRETO
ARMADO**

PUBLICAÇÃO N°: 12

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

ORIENTADOR: ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX

GOIANÉSIA / GO: 2020

**REIZILENE NOGUEIRA COSTA
SHIRLANE ALVES DA SILVA**

**ANÁLISE DE CORROSÃO EM ESTRUTURA DE CONCRETO
ARMADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX, Especialista (FACEG)
(ORIENTADOR)**

**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**FRANCE DE AQUINO, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 12 de JUNHO de 2020.

*Dedico este trabalho:
aos meus pais, Gerson e Eliene;
ao meu irmão e minhas irmãs;
aos meus avôs, tios, tias e sobrinhos.*

Reizilene Nogueira Costa

*Dedico este trabalho:
Aos meus pais, Lucineis e Jovêncio;
a minha irmã, Shirley; ao meu namorado João Pedro e
a toda minha família que, com carinho e apoio, contribuíram com minha caminhada.*

Shirlane Alves da Silva

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, e mais uma vez me dando mais uma oportunidade e capacidade da realização do meu projeto de vida, pois mediante tantas dificuldades está me concedendo forças para persistir e insistir no meu objetivo. Aos meus pais Gerson e Eliene que me deram a vida e sempre foi meu espelho e maior incentivo em pessoa, onde recebi por eles que se torna um pessoa de grande valor aquele que se obtém de honestidade, responsabilidade e dignidade pelos seus atos.

Ao meu irmão Abadio Jeferson por sempre me apoiar em meus projetos, incentivando, ajudando de várias maneiras possíveis e mostrando que o conhecimento é uma pedra valiosa em que ninguém pode tirar de mim, e que apesar de toda dificuldade que tenho passado me mostra que eu sou forte e capaz de realizar o que tanto almejo profissionalmente e na vida pessoal. As minha irmãs Elenice, Denize e Claudineide pela força e incentivo que sempre me deram desde o início da faculdade em realização de mais um sonho. Ao Edson Bispo que através de umas fotos tiradas em sua obra me deu a oportunidade de trabalhar, conhecer e aprender mais sobre a prática na construção civil.

Ao meu orientador Robson de Oliveira Félix meu muito obrigada, pela orientação que tenha me concedido, pela confiança que tem depositado neste projeto, por incentivar e está a disposição de qualquer dúvida e sendo um professor exemplar. Aos demais professores que colaboraram com a minha formação muito obrigada, foi essencial pois a bagagem de conhecimento em que cada um pode expor será levado e bastante útil na minha vida e profissionalmente. Há minha parceira Shirlane pela disposição e companherismo durante toda graduação, há Bete, Luiza e Cleonice responsáveis pela biblioteca por sempre está disponível em nos ajudar, ao Ivan (Técnico do Laboratório) e aos guardas da FACEG que se disponibilizou a nos ajudar de diversas formas nessa etapa final, gratidão a todos e com isso aprendi grandes lições e com certeza levarei eternamente.

Reizilene Nogueira Costa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar perseverança durante toda a minha vida. Aos meus pais Lucineis e Jovêncio por todo o esforço investido na minha educação e que me deram apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. A minha irmã Shirley pela motivação e incentivo. Ao meu namorado João Pedro que sempre esteve ao meu lado durante o meu percurso acadêmico. Aos demais familiares e amigos pelo apoio e motivação.

Ao professor Esp. Robson de Oliveira Félix pela orientação, apoio e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho sendo um excelente professor e orientador. Agradeço aos demais professores do curso que fez parte dessa trajetória de cinco anos, pela dedicação e paciência que contribuíram para a minha formação. Ao Ivan técnico do laboratório, pelo o apoio no resultado desse trabalho. A minha amiga e companheira de graduação Reizilene, por sua amizade e companheirismo. Aos demais amigos e colegas de graduação pela amizade e bons momentos.

Enfim, agradeço a cada amigo, professor e membros do curso de Engenharia Civil da FACEG, que sempre me auxiliaram, meus sinceros agradecimentos.

Shirlane Alves da Silva

“O maior inimigo do conhecimento não é a ignorância, é a ilusão do conhecimento.”

STEPHEN HAWKING

RESUMO

O estudo da corrosão em estrutura de concreto armado é importante para avaliar comportamento entre os materiais que constituem a estrutura das edificações em diferentes climas e situações de uso. O concreto armado possui alta resistência e flexibilidade nas construções e ao longo dos anos alguns fatores fisiopatológicos iniciam o processo de deterioração dos componentes da estrutura tornando-as menos resistentes para as suas condições de uso. A perspectiva desse trabalho é avaliar e comparar como o efeito corrosivo age dentro de uma estrutura, qual o fator de perda de massa molecular de uma barra de ferro mediante ao ser exposto no concreto com solução corrosiva misturada e outros corpos de provas sem o agente agressivo, no qual a estrutura permanece úmida por um determinado tempo para que aconteça a reação necessária. As análises realizadas nos corpos de provas detectaram que o processo de corrosão nas armaduras de concreto sem a influência de ambientes agressivos, ou seja, sem adição de contaminantes como o HCl, mostraram-se satisfatórios quando comparadas as amostras com adição de HCl, sendo assim, possivelmente resultariam em estruturas com uma vida útil permanente por um prazo muito maior, pois a corrosão nesse meio age com pouca precisão. Já estruturas de concreto armado em um ambiente hostil, ou seja, com adição de contaminante HCl para simular tal ambiente, a corrosão acontece visualmente de forma mais agressiva, e com o tempo poderia ficar ainda mais invasivo prejudicando toda edificação que tenha contato com esse meio, sendo que a deterioração das armaduras proporcionam menor tempo de vida das estruturas, podendo resultar até mesmo em um colapso estrutural.

Palavras-chave: Edificações, efeito corrosivo, deterioração, comportamento.

ABSTRACT

The study of corrosion in reinforced concrete structure is important to evaluate behavior between the materials that make up the structure of buildings in different climates and situations of use. Reinforced concrete has high strength and flexibility in constructions and over the years some pathophysiological factors start the process of deterioration of the components of the structure making them less resistant to their conditions of use. The perspective of this work is to evaluate and compare how the corrosive effect acts inside a structure, what is the loss of molecular weight of an iron bar when exposed to concrete with mixed corrosive solution and other specimens without the aggressive agent , in which the structure remains moist for a certain time so that the necessary reaction can take place. The analyzes carried out on the specimens detected that the corrosion process in the concrete reinforcement without the influence of aggressive environments, that is, without the addition of contaminants such as HCl, proved to be satisfactory when comparing the samples with the addition of HCl, thus being , possibly would result in structures with a permanent life for a much longer period, since the corrosion in this medium acts with little precision. Reinforced concrete structures in a hostile environment, that is, with the addition of HCl contaminant to simulate such an environment, corrosion happens visually in a more aggressive way, and over time it could become even more invasive, damaging any building that has contact with this environment. , and the deterioration of the reinforcement provides a shorter lifespan of the structures, which may even result in a structural collapse.

Keywords: Buildings, corrosive effect, deterioration, behavior.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Agregado Miúdo | 9 |
| Figura 2 – Agregado Graúdo | 9 |
| Figura 3 -Classe de agressividade ambiental..... | 18 |
| Figura 4 – Materiais utilizados para composição dos corpos de prova | 21 |
| Figura 5 -Definição os cobrimentos em corpos de prova, em cm. | 23 |
| Figura 6 -Areia Natural. | 24 |
| Figura 7 -Agregado Graúdo..... | 25 |
| Figura 8 - Água..... | 25 |
| Figura 9 -Ácido Clorídrico 37% | 26 |
| Figura 10 -Cimento..... | 26 |
| Figura 11 -Curva de Walz. | 28 |
| Figura 12 - Betoneira..... | 32 |
| Figura 13 - Corpos de prova moldados. | 32 |
| Figura 14 -Corpos de prova na câmara úmida..... | 33 |
| Figura 15 – Display da prensa hidráulica. | 35 |
| Figura 16 – Amostras do tratamento 1 (cobrimento de 1cm e 0% de HCl) | 37 |
| Figura 17 – Amostras do tratamento 2 (cobrimento de 3cm e 0% de HCl) | 38 |
| Figura 18 – Display da prensa hidráulica. | 39 |
| Figura 19 – Amostras do tratamento 3 (cobrimento de 1cm e 2% de HCl) | 41 |
| Figura 20 – Amostras do tratamento 4 (cobrimento de 3cm e 2% de HCl) | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 -Casos de patologias conforme as fases de construção..... | 15 |
| Tabela 2 - Parâmetros obtidos para a dosagem do concreto..... | 27 |
| Tabela 3 -Consumo de água aproximado (l/m^3). | 29 |
| Tabela 4 - Volume Compactado seco (V_c) de agregado graúdo por m^3 de concreto..... | 29 |
| Tabela 5 – Dados obtidos para determinação do traço. | 31 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia.

ACI – *American Concrete*.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

AB – Areia Britada.

AN – Areia Natural.

B – Brita.

SANEAGO – Saneamento de Goiás S. A.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

LISTA DE SÍMBOLOS

a/c – água/cimento (adimensional)

Sd – Desvio Padrão (MPa)

$Dmáx$ – Diâmetro máximo (mm)

Ca – Consumo de água (l/m^3)

Cb – Consumo de brita (kg/m^3)

Vb – Volume de brita (m^3)

Muc – Massa unitária compactada (kg/m^3)

Cc – Consumo de cimento (kg/m^3)

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 3 |
| 1.2 OBJETIVOS | 3 |
| 1.2.1 Objetivo Geral..... | 3 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 4 |
| 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO | 4 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA | 5 |
| 2.1. CONCRETO ARMADO | 5 |
| 2.1.1 Conceitos | 5 |
| 2.1.2 Normas..... | 6 |
| 2.1.3 Uso do Concreto | 6 |
| 2.1.4 Cimento..... | 7 |
| 2.1.5 Água..... | 7 |
| 2.1.6 Agregados | 8 |
| 2.1.7 Aditivos..... | 10 |
| 2.1.8 Aço..... | 10 |
| 2.1.9 Vantagens e Desvantagens..... | 11 |
| 2.2 CORROSÃO | 11 |
| 2.2.1 Normas..... | 11 |
| 2.2.2 Definição de corrosão | 11 |
| 2.2.3 Processo de degradação | 12 |
| 2.2.4 Processo de recuperação | 13 |
| 2.2.5 Corrosão em armaduras | 13 |
| 2.2.6 Corrosão generalizada..... | 14 |
| 2.3. PATOLOGIA | 14 |
| 2.3.1 Definição de patologia | 14 |
| 2.3.2 O que é patologia | 15 |
| 2.3.3 Durabilidade..... | 15 |
| 2.3.4 Vida Útil | 16 |
| 2.3.5 Cobrimento nominal | 17 |
| 2.3.6 Desempenho e qualidade de uma estrutura..... | 18 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 20 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS..... | 20 |
| 3.2 MATERIAIS DE SUPORTE | 21 |
| 3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL | 22 |
| 3.4 PROCESSO DE CÁLCULO DO CONCRETO | 23 |
| 3.4.1 Areia Natural..... | 23 |
| 3.4.2 Agregado Graúdo..... | 24 |
| 3.4.3 Água..... | 25 |
| 3.4.4 Ácido..... | 25 |
| 3.4.5 Cimento..... | 26 |
| 3.4.6 Método de dosagem ABCP..... | 27 |
| 3.5. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA | 31 |
| 3.5.1 Apresentação do traço..... | 31 |
| 3.5.2 Procedimento do ensaio | 31 |
| 3.5.3 Confeção dos corpos de prova de concreto e ensaios | 32 |
| 4 RESULTADOS | 35 |
| 4.1 TRATAMENTO 1 - COBRIMENTO DE 1cm E 0% DE HCl..... | 35 |
| 4.2 TRATAMENTO 2 - COBRIMENTO DE 3cm E 0% DE HCl..... | 37 |
| 4.3 TRATAMENTO 3 - COBRIMENTO DE 1cm E 2% DE HCl..... | 39 |
| 4.4 TRATAMENTO 4 - COBRIMENTO DE 3cm E 2% DE HCl..... | 41 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 44 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS | 46 |

1 INTRODUÇÃO

Muito se discute que dentre as razões para o desenvolvimento sustentável e o crescimento econômico da sociedade moderna, estão a confiabilidade e durabilidade de estruturas e instalações de infraestrutura, enfatizando-se as estruturas de concreto armado. Entretanto, esses sistemas estruturais são vulneráveis a processos de deterioração resultantes de agressões químicas e danos físicos, que, ao longo do tempo, podem conduzir a um desempenho estrutural insatisfatório sob cargas de serviço ou ações acidentais (FELIX et al, 2018).

O concreto, mistura composta por agregados miúdos e graúdos, cimento e água, por si só, é um material com considerável resistência aos esforços de compressão de uma estrutura, porém, suas propriedades não favorecem às ações de cargas de tração. Para solucionar este problema, são adicionadas ao sistema as barras de aço, que compõem as conhecidas armaduras da estrutura, fazendo com que o conjunto formado por concreto e armadura apresentem características propícias à solicitação de tensões tanto de compressão, quanto de tração. O termo “concreto armado” é, portanto, o somatório destes dois materiais (concreto e aço) que, trabalhando em conjunto, conseguem proporcionar estabilidade as estruturas (GONÇALVES, 2015).

Bastos (2006) descreve que o concreto armado como a junção do concreto simples e de um material com resistência à tração (envolvido pelo concreto) no entanto, ambos resistam compassivamente aos esforços solicitantes (GONÇALVES, 2015).

O concreto armado requer precisos cuidados na sua preparação, pretendendo assegurar sua vida útil e desempenho. A correta execução e uso envolvem estudos do traço, dosagem, manuseio, cura adequados, manutenção periódica e a prevenção contra agentes agressivos. A maioria das patologias nas edificações ocorre em consequência de falhas de execução, como pela falta de controle de capacidade, comprometendo a segurança e a durabilidade do empreendimento. Os problemas patológicos manifestam-se devido a essas falhas, as quais ocorrem durante uma ou mais etapas das atividades inerentes à construção civil: concepção/projeto, execução e utilização (SANTOS, 2014).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que aqueles cujo elemento estrutural depende da adesão entre armadura e concreto, e no qual não há aplicação de alongamentos iniciais das armaduras antes da consumação dessa aderência, são denominados de concreto armado.

O concreto armado, durante sua vida útil, naturalmente está sujeito ao “desgaste”, por causa das cargas e sobrecargas, em conformidade de variação sendo estática, dinâmica,

vibração, impactos e etc. Outros meios de desgaste também são ocorrentes mediante à recalques em pontos diferenciados da fundação, degradação e cavitação, determinada pela atuação de mecanismos sólidos e líquidos em depósitos, tanques e/ou reservatórios, no entanto, permite que o tempo de duração em que uma estrutura perdura conservando a resistência da mesma (GONÇALVES, 2015).

Para uma estrutura apresentar um bom desempenho, deve-se observar o correto uso para a qual a mesma foi projetada, sobretudo quanto aos carregamentos e possível presença de materiais ou componentes agressivos ao concreto armado. Um adequado planejamento de manutenção periódica deve ser observado, principalmente em pontos onde seja mais utilizada ou suscetível de desgaste, a fim de evitar problemas patológicos sérios e, em alguns casos, a própria ruína da estrutura (SANTOS, 2014).

O acontecimento de problemas patológicos da qual está na etapa de execução é devida, basicamente, ao processo de produção que é em muito prejudicado por manifestar de imediato os problemas socioeconômicos, que ocasionam baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados, como os serventes e os meio-oficiais, e mesmo do pessoal com alguma qualificação profissional (SANTOS, 2014, p.16).

A corrosão em armaduras de aço utilizadas em elementos estruturais de concreto armado é um dos fatores de maior interferência na vida útil dos mesmos, ou seja, uma diminuição na área de aço, perante consequência de uma reação química, causa redução da área de sua seção transversal, e desse modo, pode-se causar a diminuição do desempenho do elemento estrutural (FELIX et al, 2018).

A corrosão é um efeito muito difundido universalmente, podendo defini-lo como a degeneração de um material, geralmente metálico, por atuação química ou eletroquímica do meio ambiente, associada ou não à esforços mecânicos. A deterioração ocasionada pela interação físico-química entre o material e seu meio operacional caracteriza alterações desfavorável indesejáveis, sofrida pelo material, tais como desgaste, transmutação químicas ou modificações estruturais, tornando-o impróprio para o uso (GENTIL, 2012).

Ao definirmos o que é corrosão, é possível obter indícios sobre como controlá-la e como evitá-la. Fortes (1995), afirma que para um metal permanecer estável e em equilíbrio, mesmo sujeito a um ataque corrosivo, é necessário que a sessão contínua de energia esteja com quantidade adequada, e isso é possível mediante métodos de proteção (SAMPAIO et al, 2018).

O fenômeno da corrosão de armadura pode ocorrer por vários fatores que agem de forma simultânea, devendo sempre ser analisados com uma visão sistêmica. Somente perante uma boa análise, e total entendimento sobre estes fatores e mecanismos de ação, que será possível corrigir os problemas em estruturais já existentes e principalmente, encontrar formas de evitá-las em novas edificações (SAMPAIO et al, 2018).

1.1 JUSTIFICATIVA

Identificado como um processo de oxirredução, a corrosão afeta diretamente a qualidade, a durabilidade e a segurança da estrutura, ao saber como ocorre esse processo, torna-se fundamental para o estudo e compreensão desse fenômeno, podendo influenciar diretamente na vida útil das estruturas, no qual o profissional responsável possui um conhecimento adequado e técnicas para intervir corretamente no caso que seja designado.

O empenho na execução dos projetos, juntamente com a manutenção periódica nas estruturas como meio de prevenção, contribuem diretamente para a qualidade das mesmas, e tendo isso em mente, identificar e diagnosticar os ocorrentes e/ou possíveis casos patológicos nas estruturas é um assunto de suma importância, e merece ser estudado e discutido, para evitar danos até mesmo irreversíveis nas edificações.

Sendo assim, a relevância deste trabalho leva a apresentar um levantamento de patologias por corrosão em armaduras, detectadas por experimentação, no qual será realizado um estudo para a determinação da resistência mecânica dos elementos e efeitos causados por essas ações.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem como objetivo verificar possível oscilação nas características e durabilidade de estruturas de concreto armado, ao expor suas armaduras às condições controladas e às ações químicas que favoreçam o surgimento do efeito de corrosão nas mesmas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver corpos de prova de concreto armado, com duas medidas específicas de cobrimento da armadura;
- Submeter os corpos de prova a ambientes controlados, propício à umidade;
- Submeter os corpos de prova a ambientes controlados, com variação de salinidade, proposto por adição de contaminantes como o ácido clorídrico;
- Comparar os resultados de ações corrosivas nas armaduras entre os tratamentos propostos;
- Averiguar em qual situação os resultados são mais desfavoráveis, proporcionando patologias no aço por corrosão, ou induzindo a patologias futuras mediante ação do tempo.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 1 é apresentado a introdução, os objetivos, a justificativa e a organização do trabalho.

No capítulo 2 é apresentado a revisão bibliográfica, em que aborda os assuntos específicos do tema e traz os estudos das estruturas abordadas no decorrer do trabalho, apresentando especificamente sobre a corrosão em estruturas de concreto armado.

No capítulo 3 descrevemos etapas e os procedimentos metodológicos decorridos ao longo do trabalho, como desenvolver corpos de provas, submetê-los em ambientes de variação e analisar seu comportamento e resistência em cada processo estudado.

No capítulo 4 apresentamos e discutimos sobre os resultados obtidos pelo ensaio dos corpos de provas entre os tratamentos.

No capítulo 5 são apresentadas as considerações finais do trabalho, mostrando os resultados finais dos estudos e dando ênfase para que novos conhecimentos possam ser realizados trazendo novos trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1. CONCRETO ARMADO

2.1.1 Conceitos

Desde tempos imemoráveis, o concreto se tornou um elemento da construção: uma substância simples composta de água, areia, brita e cimento, transformando-o em um bloco construtor da civilização, um material amplamente utilizado na construção civil. Com o advento do mundo moderno, o desenvolvimento deste material vem permitindo novos avanços na área, com edificações cada vez mais arrojadas e duráveis (SOARES et al,2015).

Em meados de 1900, começaram a surgir as primeiras construções em concreto armado no território brasileiro. As primeiras aplicações que se têm notícia foram a de execução de casas de habitação em Copacabana, no Rio de Janeiro. Esse material foi bastante expandido, pois proporcionou amplas construções, vencendo grandes vãos e alcançando extensas alturas (GONÇALVES, 2015).

O concreto, sendo um composto que contém uma resistência a tensão de compressão bastante elevada já em resistência a tração com baixa elevação, no qual para que o material possa atingir e suprir uma boa resistência a tensão de tração, o aço é o objeto essencial para desempenhar essa função tornando em concreto armado, entretanto dando trabalhabilidade nas duas formas de tensões de maneiras opostas (SAMPAIO et al, 2018).

Na área da construção civil, o concreto tem sido utilizado como uma mistura realizada de agregados miúdos e graúdos, sendo uma substância simples, composta de água, cimento, brita e areia. Sendo assim, é um material que combate às tensões de compressão da estrutura. Contudo, o concreto armado é a somatória de dois materiais (concreto e barras de aço) que, trabalhando juntos, conseguem dar estabilidade às estruturas e resistindo as duas tensões, compressão e tração (GONÇALVES, 2015).

O concreto armado é utilizado mundialmente em todos os tipos de edificações, seja residencial, comercial ou industrial, devido a sua mistura de compósitos possuem uma vida útil maior em relação aos métodos de construções. Para a constituição do concreto armado é necessário que haja união entre o concreto e o aço, e que a resistência seja trabalhada igualmente entre os dois, sendo um dos principais problemas a corrosão, tendo relação ligada diretamente à sua armadura, e não ao concreto propriamente dito (SAMPAIO et al, 2018).

2.1.2 Normas

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece os fundamentos do concreto armado: são aqueles cujo o desempenho da estrutura decorre da aderência entre os materiais, aço e concreto, porém a armadura é posicionada de forma natural, ou seja, sem aplicação de carga de tração resultando em alongamento inicial, característica do denominado concreto protendido. Esta norma descreve a cerca também da armadura passiva, sendo uma armadura que não seja utilizada para gerar forças de protensão, que não seja antecipadamente propagada, no entanto, o aço introduzido no concreto armado é chamado armadura passiva, pois define que as tensões e deformações empregadas devem-se somente ser efetuado aos carregamentos em peças enquadadas (GONÇALVES, 2015).

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), a fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à grande variabilidade e a baixa resistência à tração; mesmo sob as ações de serviços (utilização), valores críticos de tensões de tração são atingidos. Visando obter bom desempenho quanto à corrosão e à aceitabilidade sensorial dos usuários, busca-se controlar a abertura dessas fissuras (SAMPAIO et al, 2018).

Considerando isto, a NBR 6118 (ABNT, 2014) esclarece que as fissuras que respeitam os limites dados pela a norma, quando em estruturas bem projetadas, construídas e submetidas às cargas previstas, não causam comprometimento da durabilidade e segurança quanto aos estados limites últimos. Tais limites estabelecidos para elementos estruturais de concreto armado, submetidos à tração são de valores entre 0,2 e 0,4 milímetros, dependendo da agressividade ambiental na qual a estrutura está localizada (SAMPAIO et al, 2018).

2.1.3 Uso do Concreto

O concreto é um elemento construtivo inventado na Europa na metade do século XIX, e o seu desenvolvimento foi satisfatório pois possibilitou a execução de construções de grande porte, vencendo extensos vãos atingindo alturas anteriormente nunca idealizadas. O concreto, ao ser considerado um mecanismo moldável e podendo assumir várias formas, começou a ser consumido em larga escala (GONÇALVES, 2015).

Inicialmente empregando apenas embarcações e canais hidráulicos, ao final do século XIX, o concreto armado começa a ser aproveitado da mesma forma nas edificações. Em junção com o aço e vidro, cujo o mesmo estabelece o repertório dos conhecido como os “novos materiais” das edificações ditas modernas da época (BENEVOLO,1976), que são

efetuados em proporção industrial e tornando viável em arranha-céus, pontes, silos, estações ferroviárias, afinal os notáveis novos objetos arquitetônicos representativos da perspectiva do mundo moderno (GONÇALVES, 2015).

Segundo Mehta & Monteiro (2014), o concreto é um elemento muito utilizado na construção civil devidamente por apresentar facilidade em obter elementos estruturais de várias formatos e tamanhos, devido a sua densidade plástica no estado pastoso permitindo boa aderência no interior de fôrmas. Entretanto não menos importante, o concreto tem de fato baixo custo e larga disponibilidade de matéria prima (RODRIGUES, 2016).

2.1.4 Cimento

O tipo de cimento usado nas construções possui características que pode influenciar as características do concreto, deste modo, é necessário escolher o tipo mais apropriado para a situação. Segundo Bertolini (2010), cimentos com adições pozolânicas ou de escória de alto-forno podem melhorar a resistência à penetração dos agentes agressivos. Com relação ao aumento do consumo de cimento, é possível perceber melhorias no concreto, como: elevada resistência à compressão, redução da porosidade e do transporte de agentes agressivos para o interior do concreto (FERREIRA et al, 2019).

As matérias primas utilizadas na produção do cimento consistem em: calcário, sílica, alumínio e óxido de ferro. Esses compostos interagem entre si no interior do forno e formam uma série de produtos mais complexos, exceto por um pequeno resíduo de óxido de cálcio não combinado devido ao pouco tempo para reagir, obtém-se um estado de equilíbrio químico. Alguns cimentos são mais adequados para serem utilizados em determinados casos, pois conseguem maior resistência à ação dos agentes despassivadores. E o cimento mais usado é o cimento Portland, que pode ser produzido pela moagem do clínquer. Consiste basicamente em silicatos de cálcio hidráulicos, comumente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como produto de adição (SAMPAIO et al, 2018).

2.1.5 Água

A água é um elemento essencial para a fabricação do concreto, cujo agrupamento dos componentes é preciso ter os parâmetros necessário que rege dentro da norma disponibilizada pela NBR 15900-1 que se considera a água sendo potável pode ser utilizada na produção de

concreto. Entretanto, a existência de pequenas partículas de açúcar ou citratos não influencia no pH da água, tornando-a inadequada para o consumo (CARNEIRO,2018).

Segundo Neville e Brooks (2013), a água utilizada na fabricação de concreto não deve possuir nenhum tipo de matéria orgânica indesejável nem substância inorgânicas em proporção excessivas, porém o uso de uma pequena quantia de impurezas de forma suficiente para que não ocorra alteração no preparo do concreto se os parâmetros do pH estiverem entre 6,0 e 8,0. O aspecto de impurezas indesejáveis podem prejudicar a característica e as propriedades do concreto tanto no estado inicial como no estado final da sua utilização, ocasionando resultados negativos na resistência mecânica do concreto, causando a degradação na superfície desses elementos ou até mesmo provocando a corrosão precoce nas armaduras (CARNEIRO, 2018).

A preponderância das propriedades nocivas são dependentes da porosidade da matriz e da zona de transição que são levadas diretamente pela relação água e cimento. Em concreto com relação água/cimento elevada, a água em excesso, não necessária para hidratação do cimento, porém forma poros após o concreto enrijecer. Quanto maior a porosidade do material, menor será sua resistência mecânica (CARNEIRO, 2018).

2.1.6 Agregados

A NBR 9935 (ABNT, 2011) determina que o agregado é um elemento granuloso pétreo, sem forma ou tamanho definido, em sua maioria são tidos como inertes quimicamente, obtida por classificação natural ou artificial, em extensão e características adequadas para o emprego em obras de engenharia. A NBR 7211 (ABNT, 2005) fixa as características exigíveis na recepção de agregados: composição granulométrica conforme previsto e recomendado pelo profissional responsável, teor máximo de substâncias nocivas e impurezas orgânicas, dentre outras.

Os aglomerados são muito importantes no concreto, porque em média, 70% da sua composição é constituída pelos agregados, e sua principal eficácia, seja os agregados graúdos ou miúdo, conforme ilustrada nas Figuras 1 e 2, é a estrutura econômica, no qual viabilizam os materiais com mínimo valor unitário, inferior em relação do cimento.

Portanto, os aglomerados proporcionam que quaisquer outras qualidades da rocha artificial a serem elaborada apresenta-se a melhor performance, assim como: limitação da retração da pasta de cimento, acréscimo de resistência ao desgaste, bom desempenho na trabalhabilidade e acréscimo da resistência ao fogo (GONÇALVES, 2015).

Figura 1 – Agregado Miúdo.



Fonte: AUTORES,2019.

Figura 2– Agregado Graúdo.



Fonte: AUTORES,2019.

2.1.7 Aditivos

Os aditivos são determinados como materiais orgânicos ou inorgânicos, em condições sólida ou líquida, adicionado ao concreto, argamassas ou pastas em quantias não superiores a 5% da massa de materiais cimentícios. Esses aditivos influenciam na hidratação do cimento por intermédio de efeitos químicos ou físicos, transformando uma ou mais propriedades do concreto, argamassa ou pasta na condição fresca ou enrijecida (CARNEIRO, 2018).

A inclusão de aditivos superplastificantes em processo de solvência facilitam a difusão das partículas devido ao mecanismo da repulsão eletrostática e repulsão estérica alterando a camada de flocculação do sistema, aumentando o escoamento da pasta de cimento (CARNEIRO, 2018).

Os compostos absorvidos alteram as propriedades da superfície do cimento e suas interações com a fase líquida, como também com outras partículas sólidas. Em suspensões dispersas, as partículas se encontram individualizadas, entretanto, são poucas influenciada pela força da gravidade, deixando que as suspensões permaneçam homogêneas e estáveis por um maior período (CARNEIRO, 2018).

2.1.8 Aço

O aço retrata entre a sua capacidade mecânica o módulo de elasticidade, especificado pela norma NBR 8800: 2008, no valor de $E = 200.000 \text{ MPa}$, onde o coeficiente de Poisson igual a 0,3 e a massa específica de $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ (RODRIGUES, 2016).

Com as qualidades apresentadas pelo aço é incorporado como um elemento de construção, surgem as estruturas metálicas no mercado, que vem crescendo cada vez no meio das construções no cenário mundial. São aplicadas em grandes construções como em shoppings, pontes, viadutos e edifícios, tendo aplicabilidade também em construções de médio e pequeno porte (RODRIGUES, 2016).

A eficácia em obter uma execução de obra em tempo reduzido, contendo menos desperdício na obra, e suportam bem as cargas em tração e compressão, propõe possibilidade a execução de maiores vãos livres, no qual justifica também ao melhoramento da sua utilização na construção civil (RODRIGUES, 2016).

2.1.9 Vantagens e Desvantagens

Bastos (2006) caracterizou que o concreto armado possui algumas vantagens em sua utilização, no qual se destaca como facilidade: Economia, conservação, adaptabilidade e rapidez em construção. Entretanto, o concreto armado possui algumas desvantagens sendo algumas com fator considerado como sério: Peso próprio elevado, reformas e adaptações, fissurações e baixo grau de proteção térmica (GONÇALVES, 2015).

2.2 CORROSÃO

2.2.1 Normas

A norma NBR 6211 (ABNT, 2001) descreve o método da vela úmida, no qual determina mediante análise química, a quantidade de cloretos inorgânicos existentes na atmosfera e conservação sobre uma área conhecida ao longo de um período de tempo específico, entretanto os cloretos são solúveis em água, como os existentes em atmosferas marinhas e o ácido clorídrico (HCl) são provenientes de atmosferas poluídas.

A norma NBR 14643 (ABNT, 2001) determina a classificação da agressividade atmosférica à metais e ligas metálicas em categoria de corrosividade, baseando em dados atmosférico (tempo de superfície úmida, teor de cloretos e taxa de sulfatação) e/ou medidas de taxas de corrosão de metais-padrão.

2.2.2 Definição de corrosão

A corrosão sendo considerada como a principal manifestação patológica em estruturas de concreto armado, chegando até mesmo a comprometer a durabilidade e diminuir a fase existencial no qual foram projetadas as estruturas de uma edificações, circunstâncias que além de afetar diretamente os parâmetros de segurança da construção, aumenta no valor do custo de manutenção e interferindo na conservação das mesmas (SAMPAIO et al, 2018).

O ácido clorídrico, solução composta por cloreto de hidrogênio (HCl) utilizado no concreto, um composto que possui alto grau de ionização, com essa característica se torna um ácido corrosivo, ao entrar em contato com a água transforma a mesma em um componente eletronegativo, sendo assim ao ser adicionada aos agregados na hora da fabricação do concreto enfraquece esse elemento, e suas partículas serão espalhadas de forma em que terá

contato com a armadura adicionada no corpo de prova e aos poucos iniciará a corrosão das barras de vergalhão, com o tempo a tendência de ação dessa solução é cada vez mais entrar em contato com as armaduras, causando o efeito de deterioração da estrutura, que é um processo longo e contínuo que permanece por anos até ser identificado (MEDEIROS et al, 2017).

2.2.3 Processo de degradação

O método corrosivo pode ser considerado como a degradação de um material, normalmente metálico, mediante ações químicas ou eletroquímicas encontradas no meio ambiente, de modo que seja aliada ou não a esforços mecânicos. Devido a interação desse elemento com o meio ambiente, origina-se alterações indesejáveis e prejudiciais que tornam o material inadequado para o uso (SAMPAIO et al, 2018).

Os metais obtêm um procedimento que abrangem as ações de oxidação e redução, e simultaneamente acontece em toda área de massa em conexão com um elemento oxidante. Em meio à corrosão espontânea na extensão de objetos metálicos, resultante de reações oxidantes de característica eletrolítica, o objeto metálico sofre ação de agentes oxidantes, sendo considerado como o agente redutor do processo. O procedimento eletrolítico abrange reações com movimentação de cargas ou elétrons de um campo de interação metal-eletrólito, e esse mecanismo acontece no momento em que a superfície de um objeto metálico exerce uma ligação direta aos meios aquosos, atmosférico, em solos ou com eletrólitos solubilizados ou fundidos (SADE et al, 2019).

O “apodrecimento” do concreto, ocorrido pela corrosão invariável, tem sido empregado o processo fenomenológico em que a corrosão no aço, submerso ao concreto armado, sua divisão é resumida em dois estágios, sendo a inicialização e propagação (FELIX et al, 2018).

O ciclo de inicialização da corrosão refere-se a fase em que há movimentação de agentes agressivos, por exemplo, CO₂ na matriz fofa do concreto, tendo conseqüentemente a redução no pH do meio (de aproximadamente 12,5 a 8,5) e a de passivação da armadura. O período de propagação é descrito pela eliminação de massa do aço e a estruturação de produtos de corrosão que causam a fissuração do concreto na região do cobrimento ou até mesmo, em estágios mais avançados, o destacamento do concreto (FELIX et al, 2018).

2.2.4 Processo de recuperação

Os custos para recuperação de estruturas afetadas pela corrosão são elevados, porém podem ser evitados se forem tomadas medidas preventivas ainda nas fases de execução do projeto, onde tal ação tem custo inferior aos processos de recuperação, quando necessários, e não intervém no desenvolvimento e tempo do projeto (SAMPAIO et al, 2018).

A realização de um controle da degradação da estrutura com exatidão exige conhecer os principais sinais que uma construção degradada pode apresentar, sendo:

- **Fendilhamento:** Surgem devido à tensão aplicada sobre o concreto por ser maior que a tensão resistente que o mesmo suporta. Pode ser ocasionada por cargas ou deformações exteriores, pela amplificação das matérias primas dentro do concreto, como por exemplo, a corrosão pode se obter por movimentos gerados dentro do próprio concreto.
- **Desagregação do concreto:** Ocorre quando uma parte do concreto deixa de exercer um contato com o restante dos elementos betonados, podendo ser tratado como uma desconexão local ou geral. As causas são idênticas às da fendilhação e geralmente precedidas pela mesma;
- **Erosão:** Surgem quando as partículas do concreto são retiradas da superfície do elemento através da ação da água ou do vento;
- **Infiltração:** Acontece quando um determinado líquido, normalmente a água, atinge a extensão do concreto, podendo criar desgaste físicos ou reações químicas no interior do mesmo;
- **Eflorescência:** Ocorre quando existe uma reação química no concreto, criando cristais de sais no interior ou na superfície do mesmo;
- **Deformação:** Ocorre quando alguma zona da estrutura sofre um deslocamento ou uma rotação. Geralmente esse tipo de ocorrência deve-se a assentamentos ou sobrecargas não previstas corretamente (BASTOS, 2017).

2.2.5 Corrosão em armaduras

A maneira em que ocorre a corrosão nas armaduras pode ser estabelecida como a resultante de interação de uma matéria com o ecossistema, provocando reações de natureza

química ou eletroquímica, associadas ou não a reações físicas ou mecânicas, levando a destruição dos elementos em questão. Nas armaduras de concreto, são manifestadas com mancha superficial, fissuras, destacamento do cobrimento de concreto da ferragem e perda de massa das armaduras, resultando em redução na seção de seus componentes (SOARES, 2015).

A corrosão nas armaduras consiste em uma das patologias de maior incidência nas estruturas de concreto armado, atrás de fissuras e deformações excessivas. Devido essas incidências, o aumento em acidentes fatais vem sendo algo presente na atualidade, além de grandes prejuízos com recuperação de estruturas com propagação de tais patologias. O processo químico de corrosão é espontâneo, pela necessidade do objeto em atingir o seu estado mais estável (SOARES et al, 2015).

2.2.6 Corrosão generalizada

A corrosão generalizada é um fator que pode ocorrer de forma natural ou não, e quando não é aplacado causa perdas de materiais, no qual se torna classificada como diminuição do ciclo de vida útil do objeto. Em caso onde o processo degenerativo do aço não for descontínuo, conforme a categoria da corrosão, as perdas e os impactos nas estruturas podem ser catastróficos (SADE et al, 2019).

2.3. PATOLOGIA

2.3.1 Definição de patologia

A palavra patologia está associada, na medicina, ao estudo das doenças, desde suas origens, sintomas e natureza, e no âmbito da construção civil isso não é diferente. Toda e qualquer anomalia que venha a surgir durante o ciclo de vida de uma construção, que influencie seu desempenho, tanto aos elementos, subsistemas e componentes, é tido como uma patologia (GONÇALVES, 2015).

O crescimento desenfreado da construção civil gerou a necessidade de inovações, acarretando também certos riscos, que exigem um maior conhecimento acerca de estruturas e materiais. Provém as análises dos erros corriqueiros, que têm resultado em acidentes e/ou deterioração prematura das construções (SANTOS, 2014).

2.3.2 O que é patologia

As patologias na área da engenharia, pelas construções, são subdivididas em três etapas durante os tramites de uma edificação, sendo essas fases: projeto, execução e uso. Entretanto a separação desses setores é especificada de maneira mais esclarecedora pela tabela 1, onde demonstra em proporção as taxas patológicas em fases de edificação (SOUZA, 2019).

Tabela 1 -Casos de patologias conforme as fases de construção.

| Fase de edificação | Ocorrência de Patologias |
|---------------------------|---------------------------------|
| Projeto | 18% |
| Materiais | 6% |
| Execução | 52% |
| Utilização | 14% |
| Outros | 10% |

Fonte: SOUZA, 2019.

As patologias tem seu surgimento em diferentes fases de uma edificação, contemplando desde a fase de construção, até mesmo a fases pós entrega, isso decorrente de diversos fatores que podem acarretar em falhas a curto ou longo prazo nas edificações. A responsabilidade das manifestações patológicas fica a cargo dos profissionais responsáveis, indo desde a fase de projeto, por más condições apresentadas por uma estrutura por exemplo, ou falhas construtivas, oriundas de incompatibilidade da execução para com os projetos ou até mesmo da utilização de materiais inadequados, normalmente responsabilidade do construtor ou responsável pela execução. Contudo, todas estruturas construídas são necessárias que tenha manutenção em determinados tempo de uso, para a conservação da sua durabilidade evitando o surgimento de possíveis patologias posteriores (SANTOS, 2014).

2.3.3 Durabilidade

Conforme Gonçalves (2015), durabilidade é definido como sendo a relação interativa dos elementos estruturais, do ambiente situado e das circunstâncias de aplicação, como o tempo de operação e manutenção. As estruturas, mesmo conceitualmente iguais, são capazes de obter variações em seu comportamento, ou seja, funções diferentes em relação ao tempo de durabilidade, percorrendo em muitas etapas de forma independente.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) especifica que a durabilidade, nada mais é, do que a capacidade que uma estrutura tem de resistir a ações ambientais previamente estabelecidas pelo responsável projetista, mediante discussão com o contratante e funcionalidade da edificação.

Gonçalves (2015) argumenta que a durabilidade da estrutura de concreto é definida por quatro fatores, apresentados como regra dos 4C:

- a) Composição;
- b) Compactação;
- c) Cura efetiva do concreto na estrutura;
- d) Cobrimento.

2.3.4 Vida Útil

Para Gonçalves (2015), a vida útil de uma edificação é o período de conservação da estrutura, ou seja, o tempo que corresponde a permanência dos índices mínimos de funcionalidade e resistência, sem comprometimento de sua utilização, e estender ao máximo esse período é o desejo de todo profissional da área de construção civil.

A estrutura ao decorrer de sua vida útil, está submetida instantaneamente ao desgaste natural, oriundo de diversos fatores, dentre eles: cargas, sobrecargas, impactos, vibrações, movimentação das fundações resultando em recalques, movimentações do solo por agentes hidráulicos, entre outros (GONÇALVES, 2015).

A vida útil é entendida como o tempo de durabilidade no qual as características se mantêm superiores ao limite mínimo definido. O saber sobre a conservação e a curva de deterioração dos materiais utilizados é fundamental para uma boa análise nas estruturas, desenvolvimento de orçamentos de obra e sistemas de manutenção adequada. Assim, considera-se que um material chegou ao fim de sua vida útil quando suas propriedades, sob dadas condições de uso, se deterioram a tal ponto que a continuação do uso desse material é considerada insegura ou antieconômica (SANTOS, 2014).

2.3.5 Cobrimento nominal

Para a eficácia de uma estrutura, existe dois pontos fundamentais que são a resistência mecânica do material e o cobrimento nominal das barras de aço utilizadas para obter melhor durabilidade, entretanto nota-se que uma estrutura que não possui resistência e durabilidade necessárias, quando exposta a ambientes agressivos, pode passar por processo de deterioração constante (SAMPAIO et al, 2018).

O cobrimento nominal de uma armadura contribui de maneira significativa para a durabilidade da estrutura em questão, de modo que garante uma boa qualidade no serviço, pois na hora do lançamento do concreto o adensamento é fundamental para que os agregados se aglomeram formando uma capa protetora para a armação, onde juntas realizarão o trabalho correspondente em ambas, sendo uma o complemento da outra realizando a tração e compressão no mesmo elemento e obtendo a trabalhabilidade no mesmo local sendo assim tendo flexibilidade, resistência e adquirindo um bom desempenho estrutural (MEDEIROS et al, 2017).

Quando uma estrutura de concreto possui um mal adensamento, as armaduras ficam exposta ao ambiente conhecidas como “brocas, bixeiras e etc”, essas barras de aços sofrem as reações químicas e físicas, ou seja, contraindo o efeito corrosivo na estrutura, quando uma parte da estrutura tem esse contato de ações negativa, logo será distribuída ao longo da mesma tendo inicio a sua deterioração, o que compromete sua vida útil, sua capacidade mecânica em suportar cargas solicitantes, resultando no inicio de patologias que, com o passar do tempo, avançam a um grau de deformação que pode incapacitar a estrutura de suportar as cargas previstas de projeto, podendo em alguns casos, atingir o colapso total (GONÇALVES, 2015).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) especifica claramente que existem classes de cobrimento nominal para cada ambiente, conforme figura 3, e seguindo corretamente esses parâmetros, a vida útil de uma estrutura será de longa duração, com isso é de interesse do engenheiro obter as informações adequadas sobre o ambiente em que será executado a edificação para que seja analisado de maneira correta e cautelosa em qual tipo de classe de agressividade encaixa a obra e a que meios a estrutura estará exposta.

Figura 3 -Classe de agressividade ambiental.

| Tipo de estrutura | Componente ou elemento | Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1) | | | |
|----------------------------------|--|--|----|-----|-----------------|
| | | I | II | III | IV ^c |
| | | Cobrimento nominal mm | | | |
| Concreto armado | Laje ^b | 20 | 25 | 35 | 45 |
| | Viga/pilar | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Elementos estruturais em contato com o solo ^d | 30 | | 40 | 50 |
| Concreto protendido ^a | Laje | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Viga/pilar | 30 | 35 | 45 | 55 |

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b 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, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT, 2014.

Caso o cobrimento nominal de uma estrutura seja insuficiente para aquele local, ou até mesmo na hora de execução não seja executado como segue os padrões propostos, as possibilidades de futuras manifestações patológicas são altas, podendo ser visualizadas mediante fissuras, podendo ainda ser cada vez mais extensas e notáveis na estrutura, causando grandes danos para a construção.

2.3.6 Desempenho e qualidade de uma estrutura

Segundo Gonçalves (2015), a estrutura de concreto armado possui três características que determina a sua qualidade e desempenho.

- Capacidade resistente: a estrutura tende a suportar a força exercida e prevista na construção, obtendo seguridade contra a ruptura;
- Desempenho em serviço: Consiste em manter condições adequadas da estrutura, ao longo da sua habitação sem causar danos;
- Durabilidade: consiste na aplicabilidade de resistência da estrutura mediante as influências ambientais previsíveis.

As condições referentes a estabilidade e desempenho adequado de estruturas devem ser consideradas ao longo da vida útil das mesmas, fazendo com que elas sejam salientadas em projeto e preservada de maneira que apresente uma durabilidade congruente (SANTOS, 2014).

Conforme Gonçalves (2015), O desempenho em que cada objeto ao período de sua conservação e proporção será espelhada, o efeito do trabalho avançado pela execução do projeto, na construção ou manutenção, mostra como são classificados alguns sistemas patológico, podendo expor determinadas condições propostas na construção, sendo mecânica, estética ou funcional. Desde então percebe-se a existência de possíveis manifestação patológicas em construções, tende sido avaliada medidas cautelosas para verificação de seu comportamento em utilização.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada na realização deste trabalho é experimental e comparativa com o objetivo de desenvolver corpos de prova de concreto, com adição de armaduras de aço expostas às condições controladas e às ações químicas que favoreçam o surgimento do efeito de corrosão. Essa etapa consiste na realização de três fases metodológicas, descritas abaixo:

- Fase preparatória: desenvolver corpos de prova de concreto armado, com duas medidas específicas de cobertura da armadura (1cm e 3cm) e dois traços de concreto com graus de contaminação diferentes, ou seja, com adição de composto químico para simulação de ambiente agressivo;
- Fase inicial: submeter os corpos de prova a ambientes controlados;
- Fase final: Analisar o comportamento estrutural em intervalo de tempo controlado.

O processo de definição dos materiais utilizados no experimento, procedimentos de fabricação dos corpos de prova, e definição dos parâmetros de análise para determinação dos tratamentos analisados são descritas a seguir.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

A figura 4 mostra os principais materiais utilizados para a composição dos corpos de provas, que são:

- Água;
- Agregado graúdo;
- Agregado miúdo;
- Cimento Portland CP II-F-32;
- Barras de aço de 10 mm;
- HCl (Ácido Clorídrico);

Figura 4– Materiais utilizados para composição dos corpos de prova.



Fonte: AUTORES, 2020.

3.2 MATERIAIS DE SUPORTE

Para a realização do experimento, alguns materiais são essenciais, entretanto utiliza-se como suporte os seguintes componentes para a elaboração dos corpos de provas:

- 24 moldes de 150 mm x 300mm;
- Pincel;
- Betoneira 150 litros;
- Espatula;
- Balde de 18 litros e de 20 litros;
- Bacia de 20 litros e de 12 litros;
- Peneira grossa;
- Pá;
- Colher de pedreiro;

- Balança de precisão;
- Slump teste;
- Bastão metálico;
- Trena;
- Microscópio óptico;
- Regador;
- Luva de proteção;
- Máscara de proteção.

3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização do experimento, em que foi simulado um pilar de concreto armado, fabricamos o concreto de acordo com os procedimentos da NBR 6118 (ABNT, 2014), garantindo qualidade no trabalho em questão, respeitando os parâmetros abordados pela norma, porém o cobrimento nominal das barras de vergalhão utilizadas na simulação de pilares em obras com dois padrões distintos na hora da execução de edificações, sendo que uma foi executadas dentro dos padrões exigidos pela norma, e outra fugindo dos padrões exigidos pela mesma.

Em questão da fabricação dos corpos de provas, existe alguns fatores que são essenciais para obter a sua formação, a relação água/cimento fator importantíssimo que influência diretamente em toda estrutura, a dosagem correta da água em uma fabricação de concreto obtém maior rigidez, durabilidade, evita porosidade entre outros fatores que uma estrutura necessita para obter maior resistência.

Esse componente hostil que ataca uma estrutura será a representação de um ambiente agressivo onde foi construído uma edificação, onde o sistema climático do local faz toda diferença para que aconteça esse fator, aos poucos a estrutura vai sendo corrompida com o passar dos anos cada vez mais o efeito corrosivo fica agressivo, a deterioração ganha mais intensidade, deixando a estrutura menos resistente e incapaz de suportar cargas de projeto, reduzindo sua resistência mecânica, podendo chegar a um colapso.

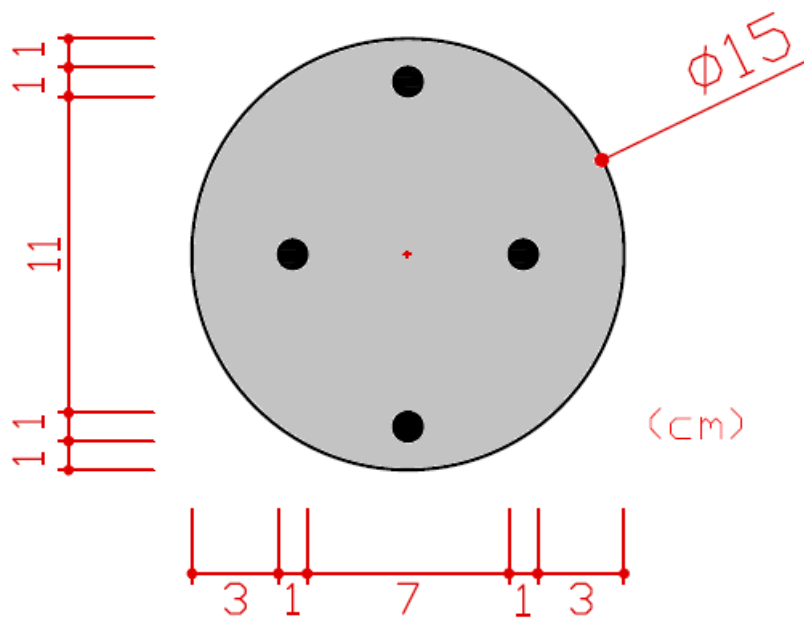
Os tratamentos então foram definidos da seguinte forma:

- Tratamento 1: Cobrimento de 1cm e 0% de HCl;
- Tratamento 2: Cobrimento de 3cm e 0% de HCl;

- Tratamento 3: Cobrimento de 1cm e 2% de HCl;
- Tratamento 4: Cobrimento de 3cm e 2% de HCl.

Para cada tratamento, foi confeccionado um total de 12 corpos de prova, sendo que os cobrimentos de 1cm e 3cm foram adotados dentro de um mesmo corpo de prova para terem mesmas condições de análise (Figura 5), além de economia na fabricação dos mesmos, obtendo um somatório de 24 unidades, sendo analisados aos 57 dias de cura.

Figura 5 -Definição os cobrimentos em corpos de prova em cm.



Fonte: AUTORES, 2020.

3.4 PROCESSO DE CÁLCULO DO CONCRETO

3.4.1 Areia Natural

A areia natural utilizada é da cidade de Goianésia-GO, retirada de dragas próximas à região. A areia obtida era bastante granulada, podendo interferir nas propriedades final do concreto, sendo decidido realizar o processo de peneiramento manual para utilização. Quanto ao estado de umidade, encontra-se em ambiente natural, conforme Figura 6.

Figura 6 -Areia Natural.



Fonte: AUTORES, 2020.

3.4.2 Agregado Graúdo

O Agregado Graúdo utilizado é a brita 0, proveniente da rocha calcária da região de Goianésia - GO, depositado diretamente no solo. O material coletado foi acondicionado em sacos e armazenados em local adequado, evitando contaminação e umidade. Como mostra Figura 7.

Figura 7 - Agregado Graúdo.



Fonte: AUTORES, 2020.

3.4.3 Água

A água utilizada foi diretamente das torneiras, pela Saneago que abastece a Faculdade Evangélica de Goianésia, como ilustra Figura 8.

Figura 8 – Água.

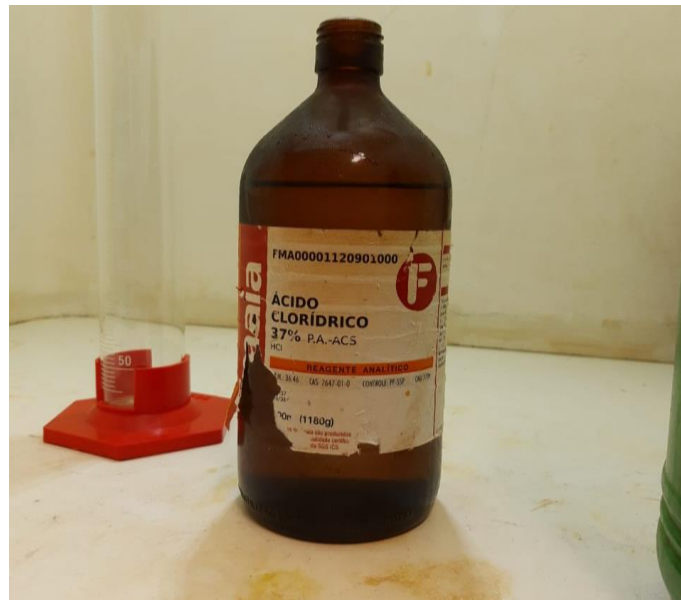


Fonte: AUTORES, 2020.

3.4.4 Ácido

O Ácido Clorídrico 37% foi utilizado para a contaminação do concreto, no qual encontra-se no laboratório de Química da Faculdade Evangélica de Goianésia, logo que para o experimento utilizamos 2% da solução, conforme Figura 9.

Figura 9 - Ácido Clorídrico 37%.



Fonte: AUTORES, 2020.

3.4.5 Cimento

O cimento utilizado foi CP II F 32 Tocantins – Todas as Obras – marca Votorantim, Empresa Votorantim S/A – unidade Edealina – GO, revendido por Castelo Materiais de construção. Para o ensaio foi adquirido 2 sacos de cimento de 50 kg, como mostra Figura 10.

Figura 10- Cimento.



Fonte: AUTORES, 2020.

3.4.6 Método de dosagem ABCP

Os parâmetros iniciais para o cálculo da dosagem de concreto, parâmetros como o f_{ck} e o abatimento são determinados conforme a necessidade de resistência aos 28 dias, os valores estão representados na Tabela 2.

O método de dosagem foi elaborado pelo American Concrete Institute (ACI) e ajustado às condições brasileiras com o intuito que fosse cumprido a norma NBR 7211 (ABNT, 2005) pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) por meio de experimentos (MALTA, 2012).

1ª etapa - Cálculo para a correção da resistência do concreto aos 28 dias (f_{c28});

$$\begin{aligned} f_{c28} &= f_{ck} + 1,65 \times S_d \\ f_{c28} &= 25 + 1,65 \times 5,5 \\ f_{c28} &= 34 \text{Mpa} \end{aligned} \quad (1)$$

Tabela 2 - Parâmetros obtidos para a dosagem do concreto.

| Parâmetros para cálculo da dosagem de concreto | | |
|--|--------------|-------------------|
| f_{ck} | 25 | MPa |
| Abatimento | 80±100 | mm |
| S_d | 5,5 | MPa |
| Cimento | CP II F – 32 | |
| Diâmetro máximo da brita | 9,5 | mm |
| Massa unitária compactada da brita | 1500 | kg/m ³ |
| Areia – MF | 2,60 | - |
| Massa unitária da areia solta | 1470 | kg/m ³ |
| Massa unitária solta da brita | 1430 | kg/m ³ |
| Massa específica do cimento | 3100 | kg/m ³ |
| Massa específica da brita | 2700 | kg/m ³ |
| Massa específica da água | 1000 | kg/m ³ |
| Massa específica da areia | 2650 | kg/m ³ |

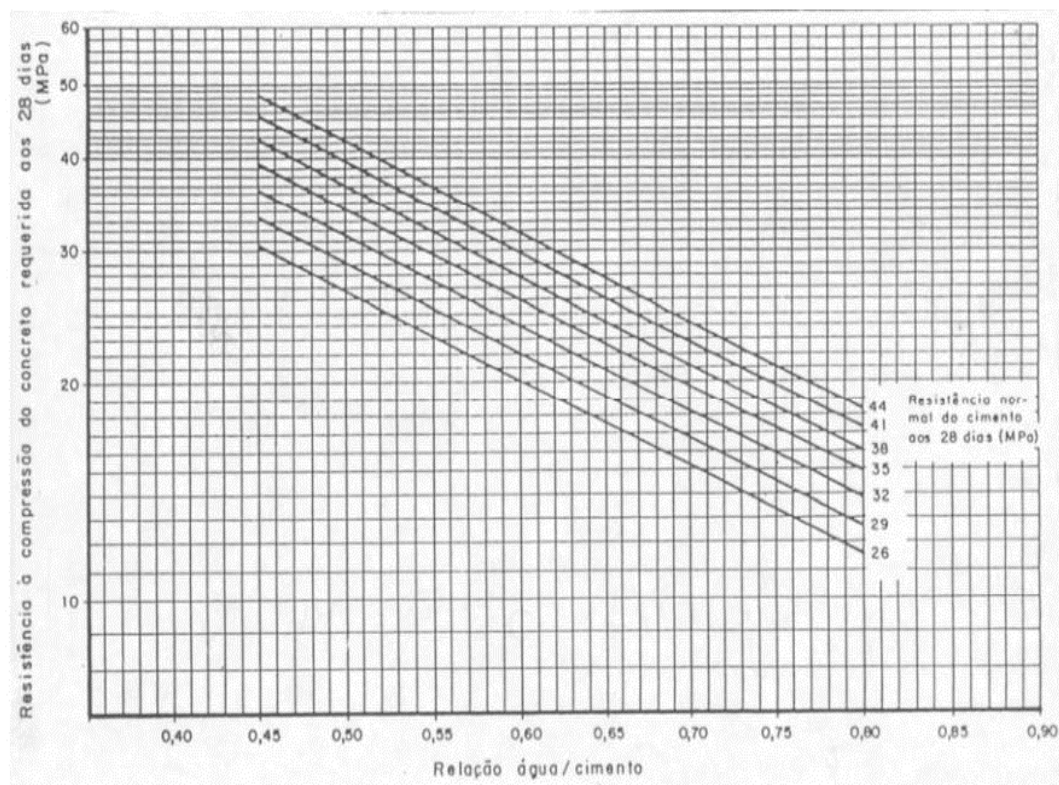
Fonte: AUTORES, 2020.

Primeiramente determinamos a relação a/c (água/cimento), calculamos o f_{c28} , que é a resistência de cálculo do concreto aos 28 dias. Quanto à resistência, é adotado as curvas de relação a/c pertinente ao tipo de cimento, como as curvas de Walz mostradas na Figura 11.

2ª etapa - Relação A/C;

A relação a/c foi determinada em função da curva de Walz, o Método da ABCP, o valor obtido foi a partir da interpolação dos valores entre 30 e 40 MPa e 0,45 e 0,50 a/c, a relação encontrada foi de 0,475.

Figura 11- Curva de Walz.



Fonte: TORALLES et al, 2018.

3ª etapa - Cálculo do consumo de água (Ca);

Determinado pela relação entre o diâmetro (máximo) do agregado graúdo e o abatimento, valor obtido pela tabela 3.

$$Ca = 200 \text{ l/m}^3$$

Tabela 3 -Consumo de água aproximado (l/m³).

| Abatimento (mm) | Dimensão máxima característica do Agregado Graúdo (mm) | | | | |
|--------------------|--|-----------|-----------|-------------|-------------|
| | 9,5 | 19 | 25 | 31,5 | 37,5 |
| 40 – 60 | 220 | 195 | 190 | 185 | 180 |
| 60 – 80 | 225 | 200 | 195 | 190 | 185 |
| 80 – 100 | 230 | 205 | 200 | 195 | 190 |

Fonte: MALTA, 2012.

4^a etapa - Cálculo do consumo de agregado Graúdo (Cb);

O consumo de agregado graúdo é obtido à partir dos dados de volumes compactados a seco da Tabela 4, onde são fornecidos os volumes compactados a seco/m³ de concreto em função da sua dimensão máxima característica e módulo de finura.

Tabela 4 - Volume Compactado seco (Vc) de agregado graúdo por m³ de concreto.

| MF' (MÓD FINURA) | Dmáx (mm) | | | | |
|---------------------|------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| | 9,5 | 19 | 25 | 31,5 | 37,5 |
| 1,6 | 0,665 | 0,790 | 0,815 | 0,840 | 0,865 |
| 1,8 | 0,645 | 0,77 | 0,795 | 0,82 | 0,845 |
| 2,0 | 0,625 | 0,75 | 0,775 | 0,8 | 0,825 |
| 2,2 | 0,605 | 0,73 | 0,755 | 0,78 | 0,805 |
| 2,4 | 0,585 | 0,71 | 0,735 | 0,76 | 0,785 |
| 2,6 | 0,565 | 0,69 | 0,715 | 0,74 | 0,765 |
| 2,8 | 0,545 | 0,67 | 0,695 | 0,72 | 0,745 |
| 3,0 | 0,525 | 0,65 | 0,675 | 0,7 | 0,725 |
| 3,2 | 0,505 | 0,63 | 0,655 | 0,68 | 0,705 |
| 3,4 | 0,485 | 0,61 | 0,635 | 0,66 | 0,685 |
| 3,6 | 0,465 | 0,59 | 0,615 | 0,64 | 0,665 |

Fonte: MALTA, 2012.

$$Cb = Vb \times Muc$$

$$Cb = 0,565 \times 1500 \quad (2)$$

$$Cb = 847,5 \text{ kg/m}^3$$

Onde:

Cb= Consumo de Brita.

V_b = Volume de brita, determinado pela relação entre o módulo de finura do agregado miúdo e o diâmetro máximo do agregado graúdo.

M_{uc} = Massa unitária compactada do agregado graúdo.

5ª etapa - Cálculo do consumo de Cimento (C_c);

$$C_c = \frac{C_a}{a/c}$$

$$C_c = \frac{230}{0,475} \quad (3)$$

$$C_c = 484,21 \text{ kg/m}^3$$

Onde:

C_c = Consumo de Cimento

C_a = Consumo de água

a/c = Fator água /cimento

6ª etapa - Cálculo do volume de areia (V_a);

$$V_a = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right)$$

$$V_a = 1 - \left(\frac{484,21}{3100} + \frac{847,5}{2700} + \frac{230}{1000} \right) \quad (4)$$

$$V_a = 0,2999 \text{ m}^3$$

7ª etapa - Determinação do Consumo areia (C_{ar});

$$C_{ar} = V_a \times \gamma_a$$

$$C_{ar} = 0,2999 \times 2650 \quad (5)$$

$$C_{ar} = 794,77 \text{ kg/m}^3$$

8ª etapa - Apresentação do Traço

O traço é o indicativo da quantidade em massa ou volume em relação a uma unidade de cimento expresso da seguinte forma:

Cimento: Areia: Brita: Água/Cimento

$$\frac{Cc}{Cc} : \frac{Car}{Cc} : \frac{Cb}{Cc} : \frac{Ca}{Cc}$$

$$\frac{484,21}{484,21} : \frac{794,77}{484,21} : \frac{847,5}{484,21} : \frac{230}{484,21} \quad (6)$$

$$1 : 1,64 : 1,75 : 0,475$$

3.5. PROCESSO DE MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

3.5.1 Apresentação do traço

Foram realizados dois traços de concreto, sendo que um foi realizada a mistura de ácido clorídrico na proporção de 2% no traço.

Tabela 5 – Dados obtidos para determinação do traço.

| Dados obtidos para o traço | | |
|-----------------------------------|--------|-------------------|
| Relação a/c | 0,475 | - |
| Volume de Brita (Vb) | 0,565 | m ³ |
| Consumo de água | 200 | l/m ³ |
| Consumo de agregado graúdo (Cb) | 847,5 | kg/m ³ |
| Consumo de Cimento (Cc) | 484,21 | kg/m ³ |
| Volume de areia (Va) | 0,2999 | m ³ |
| Consumo de areia (Car) | 794,77 | kg/m ³ |

Fonte: AUTORES, 2020.

3.5.2 Procedimento do ensaio

Após a definição do traço, os materiais foram devidamente pesados, mediante o seguinte processo: os materiais foram introduzidos na betoneira, conforme apresentado na Figura 12, misturamos os materiais durante 1 minuto. Logo após, acrescenta-se a água e durante 3 minutos homogeneizou-se a mistura.

Figura 12- Betoneira.



Fonte: AUTORES, 2020.

3.5.3 Confeção dos corpos de prova de concreto e ensaios

Conforme norma NBR 5738 (ABNT, 2016) – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de prova, foram moldados os 24 corpos de prova representado pela Figura 13. O molde utilizado foi o de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura. Até completar 24 horas, os corpos-de-prova moldados permaneceram dentro do laboratório.

Figura 13 - Corpos de prova moldados.



Fonte: AUTORES, 2020.

Os corpos de prova foram guardados na câmara úmida do Laboratório da FACEG, conforme apresentado na figura 14.

Figura 14 - Corpos de prova na câmara úmida.



Fonte: AUTORES, 2020.

Para avaliar o processo de corrosão nas armaduras, utilizamos dois métodos distintos na fabricação do concreto, onde através de testes será mostrado a diferença entre ambos. No primeiro módulo foram constituídos 12 corpos de provas 150 mm x 300 mm, nos moldes passamos óleo queimado para o efeito desmoldante onde o concreto não fica preso nas formas do experimento, e para a obtenção de um concreto com boa resistência seguimos passo a passo na sua fabricação, sendo:

1º DIA

Em uma betoneira, iniciamos com 80% da água total que será utilizada no traço do concreto, em seguida adicionamos os agregados graúdos e consecutivamente os agregados miúdos foram adicionados, deixamos bater esses agregados por 5 minutos. Após esses processo, adicionamos o cimento portland e em seguida os outros 20% da água e finalizando a

mistura por mais 5 minutos, para a formação do composto. O resultado foi de um composto em características firmes, quando adicionado aos corpos de provas, era feito o abatimento do concreto para garantir forma no modelador, em seguida era adicionada as barras de ferro, com uma trena manual medimos o distanciamento em que seria posicionada as barras, com cobertura nominal de 1cm e 3 cm, para contemplar os 2 tipos de cobertura analisados posteriormente.

Após 24 horas da fabricação do concreto, os 12 primeiros corpos de provas foram desformados, identificados e levados para uma sala totalmente fechada, onde não há presença de elementos que possa ser influenciado no processo de cura do concreto. A cura do concreto foi realizada por 57 dias, mediante molhagem com regador em horas alternadas, sendo realizada 4 vezes ao dia, mantendo o concreto sempre úmido para que o efeito corrosivo pudesse ter condições favoráveis naquele corpo promissor.

2º DIA

O processo de fabricação do concreto foi o mesmo, sendo constituídos mais 12 corpos de provas 150 mm x 300 mm, porém nessa próxima etapa foi adicionado o ácido clorídrico (HCl), um agente oxidante que foi adicionado na água utilizada para o traço do concreto. Esse elemento químico tem como função, proporcionar um ambiente propício à propagação de corrosão na armadura, simulando ambientes com agressividade elevada como regiões litorâneas por exemplo. Após 24 horas da fabricação do concreto, os 12 corpos de provas foram desformados, identificados e levados para uma sala totalmente fechada, onde não há presença de elementos que possa ser influenciado no processo de cura do concreto. A cura do concreto foi realizada também por 57 dias, com molhagem com regador em horas alternadas, sendo feita 4 vezes ao dia, mantendo o concreto sempre úmido para que o efeito do agente agressor adicionado no concreto agisse no experimento.

4 RESULTADOS

Para analisar os resultados dos corpos de prova, tivemos que romper os mesmos e através de um microscópio óptico conseguir visualizar o comportamento de corrosão nas quais as barras de aço sofreram após o período de 57 dias em ambiente controlado, sendo umedecidos e monitorados diariamente para que permanecessem saturados, ambiente favorável ao surgimento de processos corrosivos.

Conforme as imagens a seguir, a corrosão nas barras de aço introduzidas no concreto simples por esse período de tempo de monitoramento encontram-se apenas o início dessa fase, como o metal não foi exposto ao ar, então a probabilidade da corrosão se alastrar são mínimas, o que faz o material sofrer essas reações químicas e físicas são a situação climática na qual ele se encontra, pois a temperatura ambiente eleva as suas substâncias de composição onde acontece a perda de elétrons do componente.

Os resultados foram divididos conformes os 4 tratamentos descritos no item 3.3, e ilustrados nas figuras a seguir.

4.1 TRATAMENTO 1 - COBRIMENTO DE 1CM E 0% DE HCL

Dentre os 12 corpos de prova moldados para a análise desse experimento, sem adição de ácido clorídrico, foi escolhido um aleatoriamente para definição da tensão de compressão, sendo que o resultado encontrado para a carga máxima de 20,93 tf, como mostra a Figura 15, resultado obtido mediante ensaio de compressão em prensa hidráulica do laboratório de estruturas da FACEG.

Figura 15– Display da prensa hidráulica.



Fonte: AUTORES, 2020.

Conforme descrito, a prensa hidráulica utilizada apresenta os dados em tonelada força (tf), sendo necessário converter os resultados para obtenção da tensão de compressão atingida pelo concreto das amostras sem adição de ácido clorídrico, sendo assim, para identificar a resistência do concreto, no qual foi feito a análise de corrosão sem o uso de ácido clorídrico, foi determinado pela equação 7.

$$\begin{aligned}
 F &= P \times 1000 \times 9,81 \\
 F &= 20,93 \times 1000 \times 9,81 \\
 F &= 205,3233 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Sendo:

P = Força de rompimento em tf

F = Força Máxima em kN

Após conversão da força máxima de tf para kN, foi determinado mediante equação 8, o valor da resistência a compressão em MPa.

$$\begin{aligned}
 f_c &= \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \\
 f_c &= \frac{4 \times (205,3233 \times 10^3)}{\pi \times 150^2} \\
 f_c &= 11,62 \text{ MPa}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Sendo:

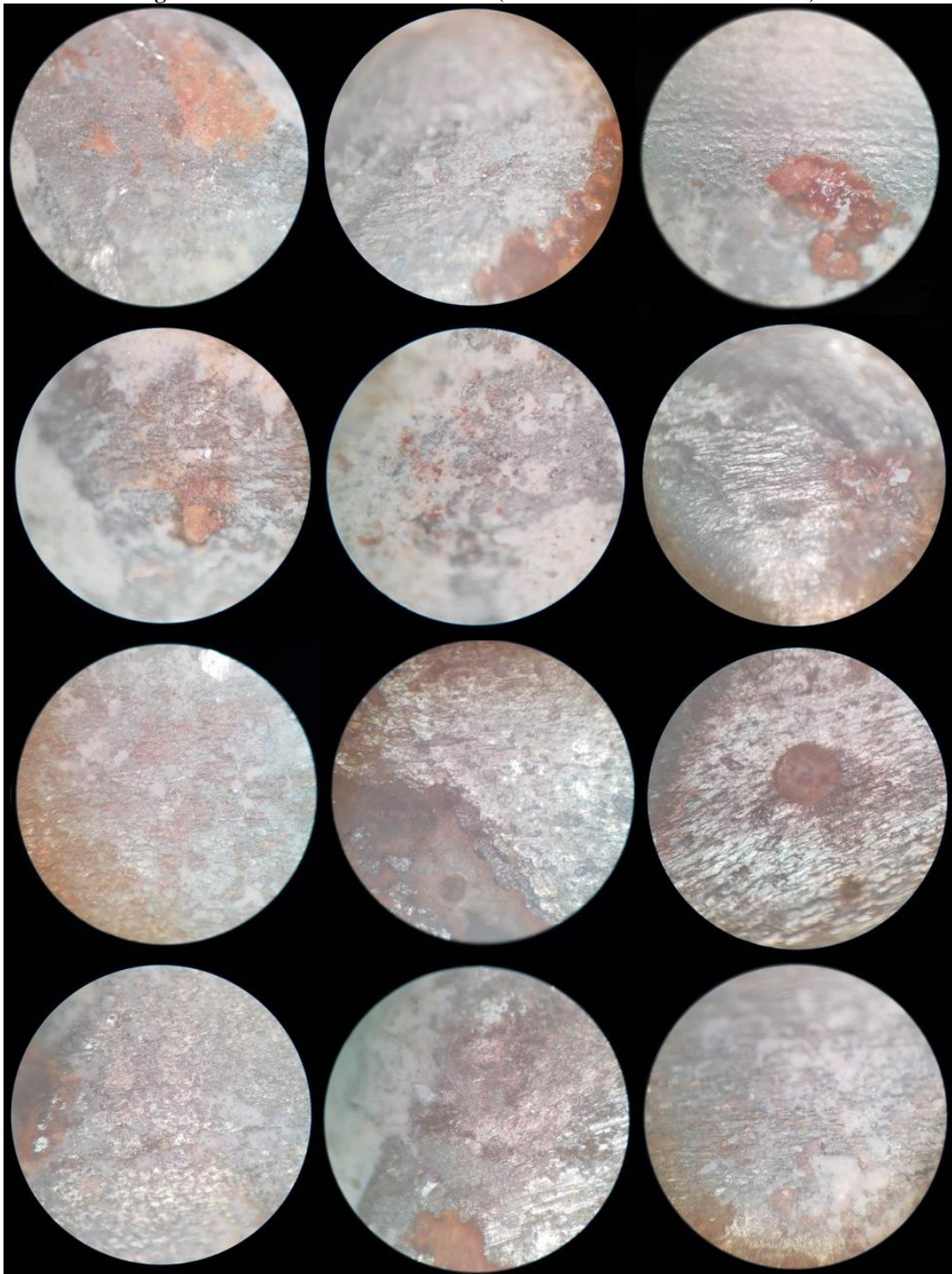
f_c = Resistência a compressão (MPa)

F = Força Máxima (N)

D = Diâmetro do corpo de prova (mm)

A figura 16 ilustra o estado apresentado pelas armaduras de aço aos 57 dias após cura, captado mediante microscópio óptico, para as amostras com 1 cm de cobrimento e sem adição de HCl na composição do traço de concreto.

Figura 16– Amostras do tratamento 1 (cobrimento de 1cm e 0% de HCl).

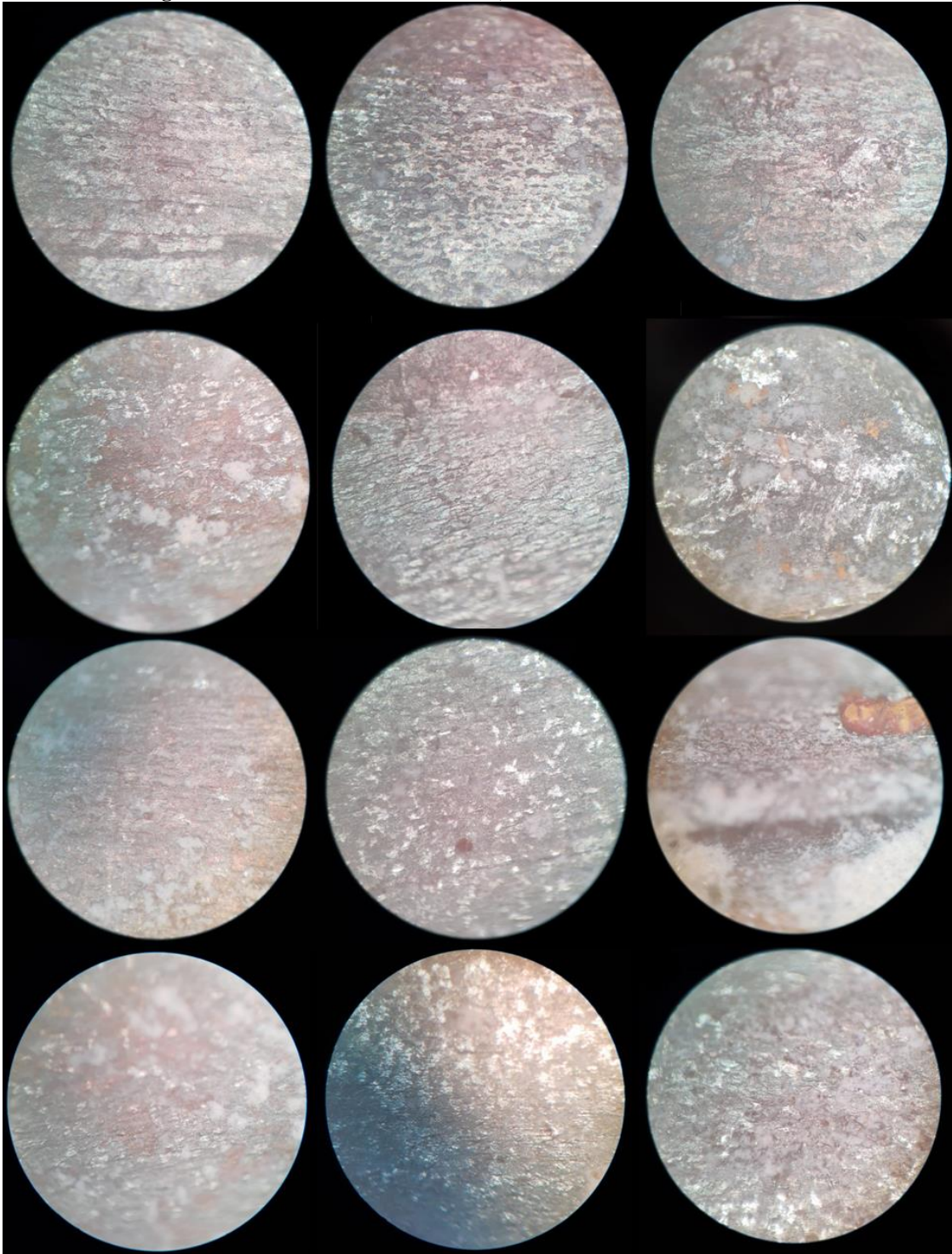


Fonte: AUTORES, 2020.

4.2 TRATAMENTO 2 - COBRIMENTO DE 3CM E 0% DE HCL

A figura 17 ilustra o estado apresentado pelas armaduras de aço aos 57 dias após cura, captado mediante microscópio óptico, para as amostras com 3 cm de cobrimento e sem adição de HCl na composição do traço de concreto.

Figura 17– Amostras do tratamento 2 (cobrimento de 3cm e 0% de HCl).



Fonte: AUTORES, 2020.

Analisando as 12 amostras nas figuras 16 e 17, para amostras sem a adição de HCl, percebe-se que as amostras dos aços não possuíram grandes pontos de corrosão, embora é visível que para o cobrimento de 1cm (TRATAMENTO 1), as amostras 2, 3, 4, 9 e 11

apresentaram características que descrevem o início de um estado corrosivo, visível apenas na amostra 9 do cobrimento de 3cm (TRATAMENTO 2).

4.3 TRATAMENTO 3 - COBRIMENTO DE 1CM E 2% DE HCL

Dentre os 12 corpos de prova moldados para a análise do experimento, com adição de 2% de ácido clorídrico, também foi escolhido um aleatoriamente para definição da tensão de compressão, sendo o resultado obtido de 23,71 tf para a carga máxima, como mostra a figura 18, resultado obtido mediante ensaio de compressão em prensa hidráulica do laboratório de estruturas da FACEG.

Quando comparado com a amostra testada do tratamento sem HCl, percebe-se que o valor encontrado foi relativamente maior, podendo ser respondido apenas pela oscilação natural existente entre amostras, ou pelo fato da redução de água em substituição pelo ácido clorídrico ser um dos motivos para tal resposta, porém, a oscilação na resistência mecânica do concreto não seria variável analisada neste estudo.

Figura 18– Display da prensa hidráulica.



Fonte: AUTORES, 2020.

Como a prensa hidráulica utilizada apresenta resultados em tonelada força (tf), conforme descrito anteriormente, se faz necessário uma conversão dos dados para obtenção da

tensão de compressão atingida pelo concreto das amostras com adição de 2% de ácido clorídrico, determinado pela equação 9.

$$\begin{aligned}
 F &= P \times 1000 \times 9,81 \\
 F &= 23,71 \times 1000 \times 9,81 \\
 F &= 232,5951 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Sendo:

P = Força de rompimento em tf

F = Força Máxima em kN

Após conversão da força máxima de tf para kN, foi determinado mediante equação 10, o valor da resistência a compressão em MPa.

$$\begin{aligned}
 f_c &= \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \\
 f_c &= \frac{4 \times (232,5951 \times 10^3)}{\pi \times 150^2} \\
 f_c &= 13,16 \text{ MPa}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Sendo:

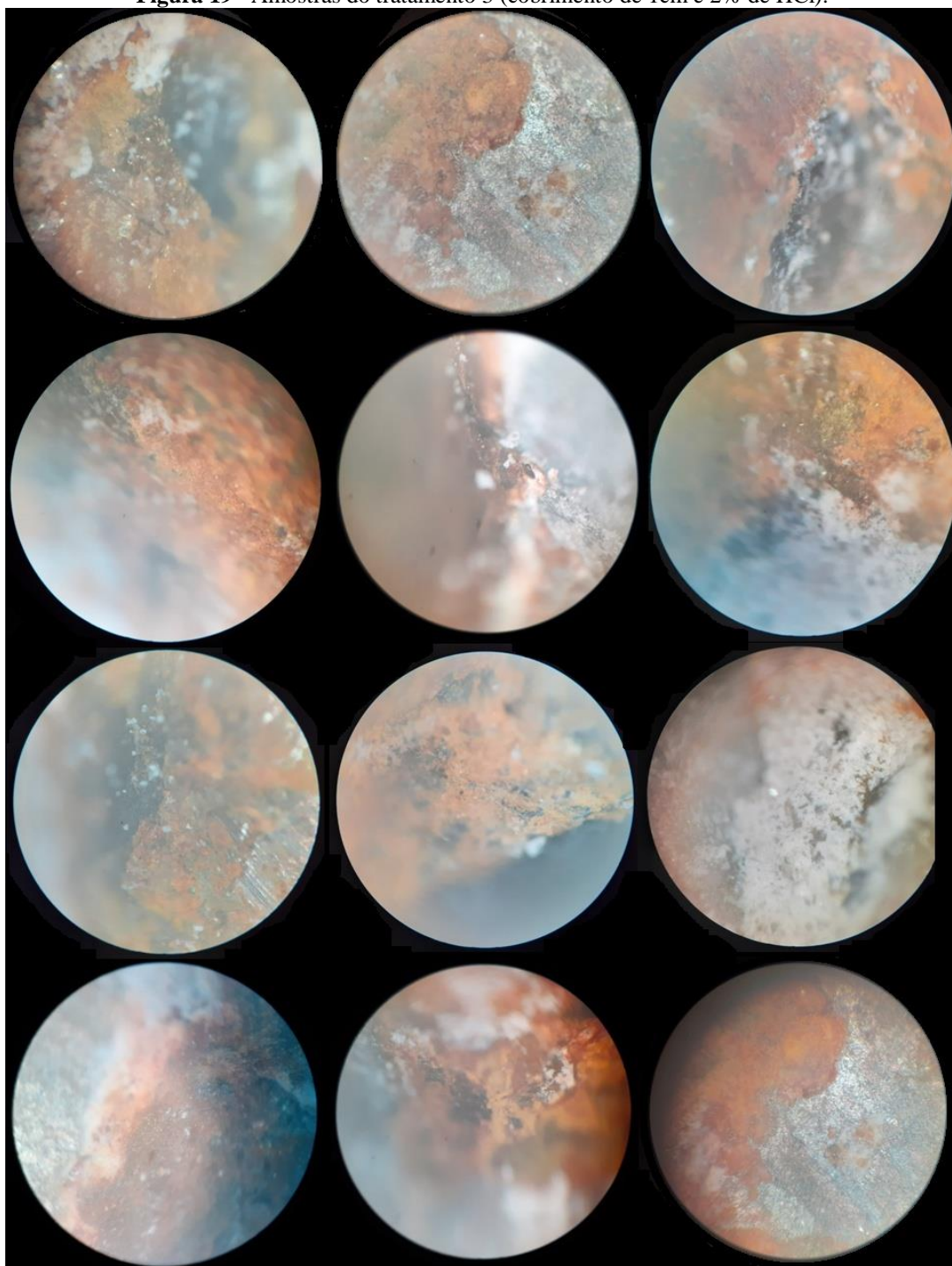
f_c = Resistência a compressão (MPa)

F = Força Máxima (N)

D = Diâmetro do corpo de prova (mm)

A figura 19 ilustra o estado apresentado pelas armaduras de aço aos 57 dias após cura, captado mediante microscópio óptico, para as amostras com 1cm de cobrimento e com adição de 2% de HCl na composição do traço de concreto.

Figura 19– Amostras do tratamento 3 (cobrimento de 1cm e 2% de HCl).

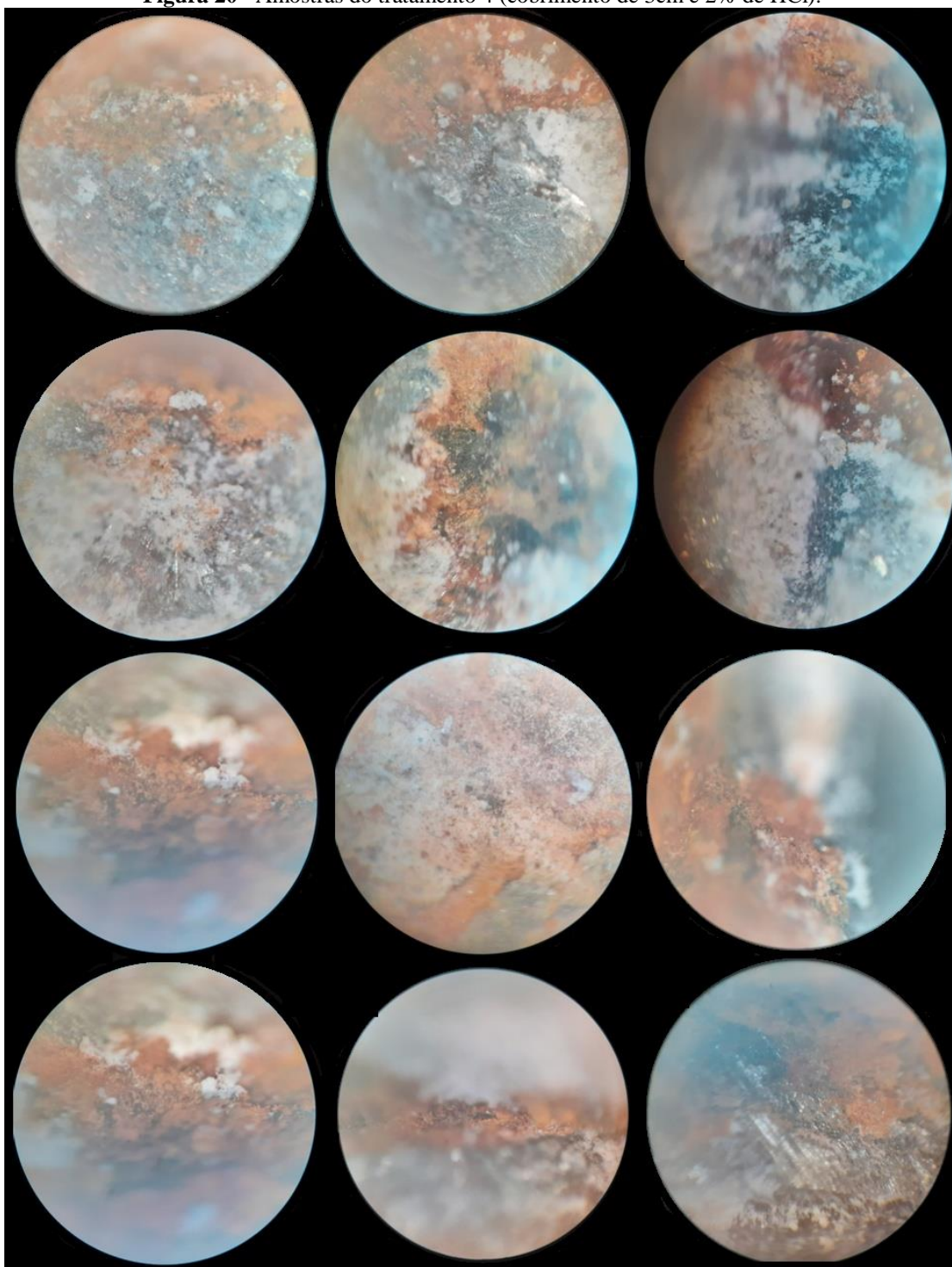


Fonte: AUTORES, 2020.

4.4 TRATAMENTO 4 - COBRIMENTO DE 3CM E 2% DE HCL

A figura 20 ilustra o estado apresentado pelas armaduras de aço aos 57 dias após cura, captado mediante microscópio óptico, para as amostras com 3cm de cobrimento e com adição de 2% de HCl na composição do traço de concreto.

Figura 20– Amostras do tratamento 4 (cobrimento de 3cm e 2% de HCl).



Fonte: AUTORES, 2020.

Após análise nas figuras 19 e 20, é nítida a diferença entre os tratamentos com adição de ácido clorídrico, quando comparados com os tratamentos sem a composição de HCl (tratamentos 1 e 2), portanto, os resultados foram satisfatórios nesse sentido, já que a adição de tal composto químico tinha justamente o objetivo de acelerar o processo corrosivo das

armaduras. Também é perceptível, embora em menor proporção, uma diferença entre os tratamentos 3 e 4, sendo o tratamento 3, com cobertura de 1cm, o resultado com maiores visibilidades de fatores corrosivos, bastante intensificado na amostra 11 da figura 19.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, para a avaliação do elemento corrosivo nas armaduras de uma estrutura de concreto armado, a fabricação do concreto foram devidamente trabalhados para que a leitura fosse feita por um eletrodo de referência, tomando como base o que foi elaborado pelo artigo “Potencial de corrosão: influência da umidade, relação água/cimento, teor de cloretos e cobrimentos”. Entretanto, não foi possível essa realização, o primeiro impecílio encontrado foi a queima da câmara úmida de armazenamento em que os corpos de provas ficariam por um determinado tempo até a sua leitura, no qual para manter o concreto úmido utilizamos um regador para que acontecesse o processo esperado, e segundo não sendo possível a realização dessa leitura devido alguns fatores que influenciaram negativamente nesse processo, o mundo por está de quarentena devido o Covid – 19 impossibilita que fosse realizado o experimento de acordo com o que foi planejado.

O método de avaliação acabou sendo realizado de outra forma, não sendo possível realizar a leitura com o eletrodo de referência, a alternativa escolhida foi realizar uma análise visual das barras de aço através de microscópio óptico da Faculdade Evangélica de Goianésia, demonstrando os processos ocorridos pela corrosão em concreto convencional sem nenhum tipo de contaminante, e em amostra contaminadas por ácido clorídrico (HCl), um agente agressor que afeta a estrutura ao longo do tempo de armazenamento. O armazenamento dos corpos de provas por meio de monitoramento aconteceu por 57 dias, com variáveis controladas como umidade, ar e temperatura, que influenciam diretamente na reação do concreto e das armaduras, sendo essencial para que nenhum outro fator pudesse induzir significativamente os resultados durante a análise.

A corrosão em uma estrutura é caracterizada como uma patologia bastante agressiva em uma obra, que ao passar dos anos se torna um fator problemático a uma edificação sendo necessário a manutenção na restauração do impacto causado pela deterioração. É notável a diferença da ação de corrosão no aço com cobrimentos nominais diferentes mediante os resultados obtidos em laboratório, ou seja, foi bastante significativa e satisfatória com o que era esperado, mediante os resultados visuais percebe-se claramente a diferença entre os corpos de prova que foram analisados com espaçamento de 1 cm e 3 cm, e como a representação de ambientes e qualidade também predominam nessa etapa de uma edificação.

A análise mediante microscópio foi de grande valia para uma análise inicial, sendo concluído de forma clara a grande diferença no comportamento do aço para as 12 amostras sem adição de HCl, em comparação com as 12 amostras moldadas com 2% de HCl, o que

caracteriza uma preocupação com patologias oriundas de corrosão em armaduras em ambientes propícios a ações de agressividade, como regiões salinas como litorâneas por exemplo, ou regiões com umidade relativa do ar elevada em boa parte do ano, o que enfatiza ainda mais o descrito pela NBR 6118/2014 quanto a preocupação perante ao cobrimento das armaduras para evitar tais situações.

Todavia, existe poucos experimentos que abordam o assunto de corrosão, é interessante que se faça mais estudos abordando esse processo de análise. Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante uma abordagem de variação de relação água/cimento, já que isso pode interferir de alguma forma na umidade do concreto em si, como também uma leitura individual das barras conforme a metodologia do uso de eletrodo de referência e voltímetro de alta impedância, como forma de medir a diferença de potencial elétrico, o que resulta em potencial de corrosão identificado nas amostras, conforme método descrito pela ASTM C 876/2009.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**. Agregados – Termologias. São Paulo: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificação. São Paulo: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6211**. Corrosão atmosférica – Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida. Rio de Janeiro: ABNT. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14643**. Corrosão atmosférica – Classificação da corrosividade das atmosferas. Rio de Janeiro: ABNT. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. São Paulo: ABNT. 2016.

BASTOS, P.S.S. **Fundamentos do Concreto Armado** – Notas de Aula. UNESP. Bauru. São Paulo. 2006.

BASTOS, A.B.B. **Caracterização da degradação estrutural baseada no estudo das propriedades dinâmicas de uma estrutura**. 2017. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Janeiro de 2017.

BENEVOLO, L. **História da Arquitetura Moderna**. São Paulo. Perspectiva. 1976.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. Tradução de Leda Maria Marques Dias Beck. São Paulo: Oficina de Textos. 2010.

CARNEIRO, R.C. **Análise das propriedades do concreto autotensável com fibras de aço no estado plástico e endurecido com sílica ativa e com filler calcário.** 2018. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

FELIX, E.F; BALABUCH, T.J.R; POSTERLLI, M.C; POSSAN, E; CARRAZEDO, R. **Análise da vida útil de estrutura de concreto armado sob corrosão uniforme por meio de um modelo com RNA acoplado ao MEF.** 2018. Revista ALCONPAT, 8 (1), pp. 1-15. São Paulo. ISSN 2007- 6835.

FERREIRA, L. A. V; SILVA, A. G; TEIXEIRA, B. G. M. **Estudo dos métodos de prevenção da corrosão de armaduras em edifícios.** 2019. Revista INOVAE, V.7, pp.229-254. São Paulo. ISSN 2357-7797.

FORTES, LYTTELTON REBELO. **Corrosão na armadura do concreto armado e sua avaliação pela técnica do potencial de eletrodo.** Dissertação de mestrado UFCE. Fortaleza, 1995. 228p.

GENTIL, V; **Corrosão.** 6ed. Rio de Janeiro. BRASIL: LTC, 306p, 2012.

GONÇALVES, E.A.B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações.** 2015. 174 f. Trabalho de conclusão de curso – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MALTA, J. O. **Dosagem de Concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição.** 2012. 192f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

MEDEIROS, M.H.F, ROCHA, F.C, MEDEIROS-JUNIOR, R.A, HELENE, P. **Potencial de corrosão: influência de umidade, relação água/cimento, teor de cloretos e cobrimento.** Revista Ibracon de estruturas e materiais. V.10, n.4, 2017, p. 864-885, ISSN 1983-4195.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Ibracon. 2014. 751p.

NEVILLE. A.M; BROOKS, J.J. Tecnologia do Concreto. 2.ed. Porto Alegre: Bookman. 2013.

RODRIGUES,B.H. **Estudo da aderência ao aço dos concretos convencional, leve e com ar incorporado em seções mistas de perfil turbulares.**2016. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, 2016.

SADE.W; NUNES.R.A.X; MOREIRA.V.E.S; HANEIKO.N.B.D; SILVA.N.N. **Investigação da corrosão eletrolítica em telhas de aço recobertas com zinco.**2019. Revista Matéria (Rio J.) vol.24.no.1.Rio de Janeiro 2019 Epub May 20,2019. ISSN 1517-7076.

SAMPAIO, A. C; SILVA, K. R. C; GONÇALVES, G. H. V. **Concreto armado: Análise de corrosão, prevenção e tratamento.** 2018. 19f. Graduação em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, São Paulo, 2018.

SANTOS, C.F. Centro de tecnologia, **patologia de estruturas de concreto armado.** 2014. 91 f. Trabalho de conclusão de curso – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.

SOARES, A.P.F; VASCONCELOS, L.T; NASCIMENTO, F.B.C. **Corrosão em armaduras de concreto.** **Revista Ibracon de estruturas e materiais.** 2015. Cadernos de graduação Ciências exatas e tecnológicas,V.3, n.1, p. 177-188. Maceió. ISSN 1980-1777.

SOUZA, M.M. Principais Patologias Estruturais e atuais metodologias de controle na Construção Civil. **Inter-AmericanJournal:**Artigo de Revisão da Faculdade Panamericana UNIJIPA, Ji-Paraná, v. 2, n. 1, p. 57-73, Jan./Jun. 2019.

TORALLES, B.M et al. **Estudo comparativo de diferentes métodos de dosagem de concretos convencionais.** **Revista Engenharia e Tecnologia.** V. 10, nº 1 abr/2018, p.186-193. ISSN2176-7270.