

UNIGUAÇU - UNIÃO DE ENSINO SUPERIOR DO IGUAÇU LTDA.

FACULDADE UNIGUAÇU

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

TCC

EVAIR NERING DA COSTA

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DE ADITIVO REDUTOR DE
PERMEABILIDADE NA MINIMIZAÇÃO DA CORROSÃO EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU

2024

EVAIR NERING DA COSTA

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DE ADITIVO REDUTOR DE
PERMEABILIDADE NA MINIMIZAÇÃO DA CORROSÃO EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Faculdade Uniguaçu, sob a orientação da Prof.^a Me. Meire Cláudia Barbosa e coorientação da Prof.a. Dra Silvia Sônia da Silva.

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU

2024



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

TERMO DE APROVAÇÃO

EVAIR NERING DA COSTA

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE ADITIVO REDUTOR DE PERMEABILIDADE
NA MINIMIZAÇÃO DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, apresentado sob a orientação da professora Meire Cláudia Barbosa e coorientação da professora Silvia Sônia da Silva, aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel no curso de Engenharia Civil da Faculdade UNIGUAÇU, pela seguinte banca examinadora:

Professora Meire Cláudia Barbosa
Faculdade UNIGUAÇU

Professora Silvia Sônia da Silva
Faculdade UNIGUAÇU

Professor Gabriel Matsuda
Faculdade UNIGUAÇU

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU, 27 DE JUNHO DE 2024

RESUMO

No Brasil, o concreto armado é utilizado em larga escala e sua durabilidade está diretamente ligada às manifestações patológicas envolvendo os elementos estruturais e relacionadas à corrosão de armaduras. O objetivo deste trabalho, foi elaborar um estudo comparativo da eficiência, do aditivo redutor de permeabilidade como inibidor do processo corrosivo em armaduras de concreto armado. Essa avaliação se deu através de um experimento de corrosão acelerada com corpos de prova prismáticos de concreto armado. Para a execução da atividade, foi utilizado o aditivo de impermeabilização por cristalização integral, adicionado ao traço do concreto no momento de sua produção. Através dos resultados obtidos pôde-se identificar por meio de inspeção visual, perda de massa e grau de corrosão da armadura, foi possível avaliar a eficiência da utilização do aditivo como tratamento impermeabilizante contra corrosão em armadura para concreto armado. Assim os ensaios realizados obtiveram bons resultados, mediante a avaliação do grau de corrosão, destacando a eficiência do inibidor nas amostras analisadas. Portanto conclui-se que ao impermeabilizar a estrutura, é possível mitigar o processo de corrosão, proveniente no maior agente agressivo, que é a água e os componentes que a mesma transporta para dentro da estrutura.

Palavras-chave: Durabilidade de estruturas, corrosão e tratamento impermeabilizante.

ABSTRACT

In Brazil, reinforced concrete is used on a large scale and its durability is directly linked to pathological manifestations involving structural elements, directly related to reinforcement corrosion. The objective of this work was to develop a comparative study of the efficiency of the permeability reducing additive as an inhibitor of the corrosive process in reinforced concrete reinforcement. This evaluation took place through an accelerated corrosion experiment with prismatic reinforced concrete specimens. To carry out the activity, the integral crystallization waterproofing additive was used, added to the concrete mix at the time of production. Through the results obtained, it was possible to identify, through visual inspection, mass loss and degree of corrosion of the reinforcement, the efficiency of using the additive as a waterproofing treatment against corrosion in reinforcement for reinforced concrete. Thus, the tests carried out obtained excellent results, by evaluating the degree of corrosion, highlighting the efficiency of the inhibitor in the analyzed samples. Therefore, it is concluded that by waterproofing the structure, it was possible to mitigate the corrosion process, which comes from the biggest aggressive agent, which is water and the components that it transports into the structure.

Keywords: Durability, corrosion and waterproofing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Cristalização de poros.....	20
Figura 2.Aditivo redutor de permeabilidade.....	22
Figura 3.Armadura com cabo anexado de em formato espiral.....	23
Figura 4.Armadura alocada na forma.....	24
Figura 5.Moldagem dos corpos de prova.....	25
Figura 6.Corpos de prova submersos.....	26
Figura 7.Interligação do circuito em série.....	27
Figura 8.Instalação de bateria 12V 7A.....	28
Figura 9.Disposição das barras na solução.....	29
Figura 10.Armaduras submersas em solução de Ácido clorídrico.....	30
Figura 11.Avaliação da massa das armaduras.....	31
Figura 12.Armadura após o ensaio de corrosão com 7 dias.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Caracterização dos materiais.....	21
Quadro 2. Quantitativo de amostras de CP.....	28
Quadro 3. Equação grau de corrosão.	31
Quadro 4. Perda de massa e grau de corrosão das armaduras, ensaio de 7 dias.....	33
Quadro 5. Perda de massa e grau de corrosão das armaduras, ensaio de 28 dias...	33
Quadro 6. Grau de corrosão, ensaio de 7 dias.....	35
Quadro 7. Grau de corrosão, ensaio de 28 dias.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. PROBLEMA.....	9
1.2. JUSTIFICATIVA.....	10
1.3. OBJETIVOS.....	11
1.3.1. Objetivo Geral.....	11
1.3.2. Objetivos Específicos.....	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. CONCRETO	12
2.2. CONCRETO ARMADO.....	13
2.3. CORROSÃO DAS ARMADURAS	14
2.4. PATOLOGIAS E A INFLUÊNCIA NA CORROSÃO DAS ARMADURAS.....	15
2.4.1. Lixiviação	16
2.4.2. Carbonatação	16
2.4.3. Corrosão química.....	17
2.4.4. Corrosão eletroquímica.....	17
2.5. DURABILIDADE	18
2.6. IMPERMEABILIZAÇÃO	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1. MATERIAIS	21
3.2. MÉTODOS.....	23
3.2.1. Produção do protótipo.....	23
3.2.2. Moldagem dos corpos de prova simulando elementos de concreto armado	24
3.2.3. Ensaio de Corrosão Acelerada por Imersão Modificada.....	26
3.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	30
4. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS.....	32
4.1. VERIFICAÇÃO VISUAL.....	32
4.2. PERDA DE MASSA E GRAU DE CORROSÃO	33
5. CONCLUSÕES	37
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	38
7. REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

O aço é um material amplamente empregado na construção civil devido sua grande resistência mecânica, ductilidade e baixo custo (LIMA, 2017). Na construção civil o aço pode ser empregado de duas maneiras predominantemente, na forma usual da edificação, onde a estrutura é montada com componentes de aço ou ainda na forma de armaduras para compor a estrutura de concreto armado.

O concreto de cimento Portland por sua vez, é um material empregado na construção civil em grande escala devido a sua elevada resistência mecânica no estado endurecido e alta moldabilidade no estado fresco. Por concreto entende-se o material heterogêneo composto pela mistura de um aglomerante hidráulico, agregados graúdos e miúdos, e água, podendo ainda ser utilizados aditivos e adições (BEZERRA, 2019).

Apesar da boa relação comportamental do concreto armado, o concreto é uma estrutura porosa, e essa porosidade interfere diretamente na durabilidade do elemento estrutural como um todo, já que a interligação dos poros permite a interação entre estrutura e meio ambiente, possibilitando um fluxo e transporte de líquidos, gases e outras substâncias presentes no ar (LEITE et al, 2018). Essas substâncias podem acarretar entre outros fatores a corrosão das armaduras, tendo como resultado a redução da sua seção resistente, ocasionando em redução da vida útil da estrutura.

Em elementos de concreto armado a água é fator primordial para desencadeamento da corrosão das armaduras, que pode prejudicar alguns dos parâmetros de segurança estrutural tais como a aderência entre as barras e o concreto; a redução da área transversal do aço; o aumento das tensões internas de tração, que juntamente com a fissuração e o acúmulo de produtos internos oxidados que pode causar deslocamento do concreto (GRAEFF, 2007; CABRAL, 2000). Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2024), as estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade classificados em: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade.

Em concretos, a porosidade entre outros fatores está diretamente relacionada à quantidade de água na mistura, quanto maior a relação água cimento das misturas, maior a porosidade e menor a vida útil associadas. A água é caracterizada como principal desencadeador dos problemas de durabilidade do concreto, pois atua como

causadora de processos físicos de degradação nos sólidos porosos e como veículo de transporte para agentes agressivos, tornando-se fonte de processos químicos de degradação, sendo fundamental para a criação quanto para a destruição de muitos materiais naturais (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Com o intuito de contribuir com as pesquisas relacionadas a corrosão das armaduras e durabilidade do concreto armado, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a efetividade do uso de aditivo redutor de permeabilidade, em elementos de concreto armado submetidos a corrosão acelerada.

1.1. PROBLEMA

As estruturas de concreto armado tem sua durabilidade afetada por meio da corrosão das armaduras. A oxidação das armaduras se dá através de agentes externos, transportados por líquidos indesejáveis. Essas reações são advindas de mecanismos, lixiviação e carbonatação importantes para o processo de deterioração das estruturas de concreto (HELENE, 2004).

Existem inúmeras formas de oxidação das estruturas, entre elas temos a oxidação a partir da reação álcali-agregado gerando produtos que danificam o revestimento do concreto e a proteção da armadura (PERAÇOLI, 2016).

Para Peraçoli (2016), a lixiviação do concreto é a dissolução de compostos hidratados da pasta de cimento quando em contato com a água, para o autor a remoção de sólidos e a exposição dos agregados expõe o concreto, deixando-o suscetível a entrada de gases e líquidos, podendo acarretar, na corrosão da armadura, por exemplo por carbonatação.

Segundo Kalsing (2020), estando a estrutura de concreto exposta ao ambiente, o gás carbônico presente na atmosfera penetrará nos poros por difusão gasosa, avançando até os poros úmidos contendo hidróxido de cálcio, dando assim início à reação de carbonatação dos mesmos, sendo essa reação em destaque responsável pela redução da alcalinidade do meio, redução de pH, efeito característico do processo de carbonatação do concreto.

Para Couto (2013), a estrutura de concreto possui uma vida útil na qual a

estrutura é capaz de desempenhar as funções para qual foi projetada, havendo diversos fatores que acabam por interferir nessa vida útil, e por isso ela deve ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo. Embora o concreto seja um composto rígido, alguns problemas podem ser observados com a corrosão, os ninhos e as fissuras que são frequentes nas construções, podendo até levar muitas vezes a mesma a um desmoronamento.

1.2. JUSTIFICATIVA

As armaduras utilizadas em concreto armado podem ter seus parâmetros de dimensionamento estrutural modificados por meio da degradação, advindo do processo de corrosão, parâmetros como aderência entre a barra de aço e o concreto; a redução da área de aço; o aumento das tensões internas de tração, que juntamente com a fissuração e o acúmulo de produtos internos devido a corrosão pode causar deslocamento da camada de cobrimento em concreto (PERAÇOLI, 2016).

Por meio de suas solicitações mecânicas o concreto pode apresentar algumas fissuras, permitindo a entrada de gases e agentes agressivos, possibilitando o ataque corrosivo. Neste contexto, segundo Russo e Santos (2020) a impermeabilização é tema de suma importância em edificações, considerando as possíveis problemáticas que podem surgir em sua ausência, afetando tanto o âmbito estrutural do empreendimento como a qualidade e conforto dentro das ocupações, o que torna ainda mais importante a análise de projeto e estudos preliminares como a própria NBR 9575 (ABNT, 2010).

Para Petrucci (2016), a busca de métodos e soluções inovadoras que não adicionem serviços complementares e não alterem os processos construtivos, e sim que incrementem o desempenho do sistema de impermeabilização das edificações é um desafio constantemente enfrentado pelas construtoras.

A utilização de aditivos impermeabilizantes no concreto fresco ou no concreto endurecido vem se mostrando uma alternativa interessante dentre os diferentes tipos

de sistemas inovadores propostos pelos fabricantes, um exemplo são os cristalizantes, que são compostos por agentes químicos que ao entrarem em contato com a água, formam cristais e ocupam os poros capilares do concreto, promovendo um sistema de impermeabilização que permanece como um produto integrante do material (PORTAL PENETRON, 2024).

Sistemas que impossibilitem a penetração de líquidos ou umidades em porões, subsolos, jardins contíguos às fachadas e quaisquer paredes em contato com o solo, ou pelo direcionamento das águas, sem prejuízo da utilização do ambiente e dos sistemas correlatos se forem constituídos de sistemas de impermeabilização, estes devem seguir os parâmetros fornecidos pela normativa NBR 9575 (ABNT, 2010).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

O presente trabalho teve por objetivo avaliar por meio de ensaios, a aplicação e eficiência do uso de aditivo redutor de permeabilidade, na minimização do processo corrosivo em armaduras de concreto armado.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Compreender as técnicas abordadas, quanto a aceleração do processo de corrosão, avaliando seus níveis;
- Analisar os resultados, frente ao avanço da corrosão nos ensaios executados;
- Verificar a eficiência do aditivo redutor de permeabilidade, como tratamento preventivo em estruturas de concreto armado, em meio aquoso salino.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. CONCRETO

A diferença entre o concreto armado e o concreto simples é que o primeiro possui uma armadura que auxilia na resistência aos esforços de tração, enquanto que o concreto simples resiste apenas às tensões de compressão. A NBR 6118 (ABNT, 2023) estabelece espessuras mínimas de cobrimento do concreto armado diferenciadas a depender do ambiente em que o elemento estrutural está inserido. Essa espessura é maior ou menor a depender da classe de agressividade do ambiente, já que os agentes agressivos “caminham” concreto adentro pela porosidade do mesmo chegando a armadura, que fica suscetível a corrosão, diminuindo a durabilidade e vida útil da estrutura.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023) a capacidade resistente do aço consiste basicamente na sua segurança à ruptura. A resistência da estrutura de concreto armado depende da resistência do concreto e do aço, qualquer um dos dois quando deteriorado compromete a capacidade resistiva da estrutura como um todo. A mesma norma caracteriza desempenho em serviço como a capacidade da estrutura em manter-se em condições plena de serviço/utilização, ou seja, a mesma não deve apresentar danos que comprometam parcial ou totalmente o uso para qual foi projetada.

Por durabilidade entende-se a capacidade que a estrutura apresenta em resistir a problemas ambientais previamente considerados no projeto estrutural. Mehta e Monteiro (2008) definem a durabilidade de uma estrutura, como a capacidade do concreto de resistir a intempéries, ataques químicos, abrasão ou outro tipo de deterioração.

2.2. CONCRETO ARMADO

A utilização do sistema composto de concreto armado, segundo Helene (1986), possui grandes vantagens, dentro das quais se destaca o sistema de dupla proteção à corrosão das armaduras, proteção essa naturalmente desenvolvida devido a natureza dos materiais.

A durabilidade de uma edificação está totalmente ligada à vida útil de sua estrutura, mas não se pode generalizar esta propriedade. Para Baraldi e Camargo (2016), ser durável é a capacidade que se tem de resistir a um certo meio ambiente ao qual está exposto. Conforme mencionado anteriormente a NBR 6118 (ABNT, 2024) caracteriza os ambientes em que as obras estão inseridas em função de sua agressividade ambiental, ou seja em função dos agentes agressivos aos quais aquela estrutura estará exposta, é nesse contexto também que entra em cena a importância de outro conceito na durabilidade de concreto armado, a porosidade.

A porosidade é diretamente influenciada por processos inerentes a produção dos concretos, como por exemplo a dosagem, relação água cimento da mistura, processo de produção, lançamento e de cura dos mesmo. E está intimamente relacionada à redução da resistência mecânica da peça concretada, ou seja, quanto maior a porosidade menor a resistência mecânica que o elemento apresenta (SANTOS, RIBEIRO; 2021).

O concreto por ser um material produzido pelo homem e por muitas vezes sem o devido controle tecnológico, pode apresentar um comportamento aquém de suas capacidades, seja por erros associados a falta de projetos, execução e/ou manutenção preventiva. Essa debilidade do material acaba por acarretar na manifestação de patologias nesses elementos que podem ser apresentados por diversas formas. Para Carmona, (2005) em concreto armado a fissuração é a manifestação patológica mais comum, seja ela por efeitos internos da própria constituição do material ou por solicitações, esforços, externas aos quais é submetido sem que esteja dimensionado para tal.

As fissuras em edificações podem interferir na estética, durabilidade e nas características estruturais da obra. Quanto maior for a limitação imposta ao movimento dos materiais, e quanto mais frágil ele for, maiores serão a magnitude e a intensidade da fissuração (CORSINI, 2010). A fissuração pode se apresentar como aberturas finas

e compridas, mas de pouca profundidade e normalmente são superficiais atingindo a massa corrida ou a pintura, com um limite de abertura de até 0,5 mm (BRAGA, 2010).

Estudo realizado por Macedo (2017) verificou com inspeções em uma edificação, que devido a ação da umidade, falta de manutenção preventiva e intervenções mal executadas, naquela edificação manifestaram-se a presença de mofo, lixiviação intensa, corrosão de armaduras com deslocamento do concreto de cobertura, sendo todas anomalias acarretadas pela falha ou falta de um sistema de impermeabilização.

Para Helene (2004), a durabilidade do concreto possui relação direta a facilidade que os fluidos, líquidos ou gases, têm de ingressar e se deslocar dentro do concreto, podendo ser esse ingresso através do escoamento, difusão ou adsorção. Sendo a relação água/cimento do concreto tido como principal fator responsável pela influência da porosidade do concreto.

2.3. CORROSÃO DAS ARMADURAS

De acordo com Pellizzer (2015), a corrosão das armaduras apresenta lugar de destaque dentre os processos desencadeadores de patologias em estruturas de concreto armado. Para o autor a “corrosão das armaduras está diretamente associada à durabilidade de estruturas de concreto e a difusão de cloretos é reconhecidamente um dos fatores de maior importância no desencadeamento do processo corrosivo”.

O processo de corrosão se desencadeia por dois meios distintos, químico ou eletroquímico, na construção civil o meio eletroquímico (resultante da interação de um material com o meio ambiente) é o mais preocupante, nas armaduras em concreto, este problema se manifesta em manchas superficiais, fissuras, destacamento do cobrimento de concreto, e perda de massa das armaduras, resultando em redução na secção de seus componentes (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015). Ainda segundo os autores por se tratar de um processo eletroquímico algumas variáveis são necessárias ao desencadeamento da reação de corrosão das armaduras, como por exemplo a umidade e oxigênio. Em ambientes secos o risco de corrosão das armaduras é mínimo, já que a presença de água se faz necessário ao desencadeamento do processo de corrosão, assim como ambientes de total e

permanente saturação do concreto, já que não há presença de oxigênio, também é essencial ao processo.

Em resumo o processo de corrosão das armaduras é iniciado quando a concentração de cloretos na interface armadura/concreto atinge um valor limite, no qual ocorre a alteração do pH do concreto, acarretando na despassivação do mesmo, com a despassivação a camada que protege a armadura agora não existe mais, tornando-o suscetível a corrosão PELLIZZER (2015).

De acordo com Grossi (2017) as principais causas da corrosão de armaduras são: a baixa espessura de revestimento das armaduras; o processo de carbonatação do concreto; a baixa resistência do concreto, ou seja, invariavelmente sua alta porosidade; os ninhos/falhas de concretagem que o elemento apresenta; e falta de manutenção preventiva, esta última que consistem basicamente no reparo dos pontos de corrosão com limpeza das armaduras, acréscimo de seção de aço e recomposição do concreto onde e quando necessário.

Desta forma os efeitos da corrosão das armaduras em elementos de concreto armado atingem três pontos importantes: a armadura, pois provoca perda de seção e conseqüentemente perda de resistência mecânica; o concreto com aparecimento de manchas de corrosão e fissuração; e na interface aço/concreto, afetando a aderência entre o aço e o concreto, podendo levar a estrutura ao colapso (CABRAL, 2000). Desta forma algumas manifestações patológicas influenciam/aceleram o processo de corrosão e serão discutidas nos tópicos abaixo.

2.4. PATOLOGIAS E A INFLUÊNCIA NA CORROSÃO DAS ARMADURAS

Os processos de degradação de matrizes cimentícias ocorrem a partir da interação destas com o meio na qual estão inseridas, podendo ter como causa o meio. Os processos de degradação podem decorrer ou não de mudanças químicas, como exemplo de degradação que não envolve alteração química da matriz tem-se os ciclos de gelo e degelo, entretanto, devido a agentes agressivos presentes no meio pode-se acarretar reações químicas entre seus componentes que acabam gerando novos produtos no material alterando suas propriedades, os principais exemplos são: as reações de carbonatação, reações álcali agregados e ataques por ácidos e sulfatos

(SANTOS, RIBEIRO; 2021).

2.4.1. Lixiviação

A lixiviação do concreto é a dissolução de compostos hidratados da pasta de cimento quando em contato com a água. Com a remoção de sólidos e agregados expostos, o concreto fica suscetível a entrada de gases e líquidos, além da entrada de água e oxigênio, o que irá resultar em corrosão da armadura (PERAÇOLI, 2016).

Em edificações a lixiviação se manifesta na forma de manchas brancas no concreto podendo ocorrer a formação de estalactite ou estalagmite (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015). Observa-se também a diminuição do pH do concreto, oferecendo um risco maior para a despassivação da armadura.

2.4.2. Carbonatação

A carbonatação é um fenômeno físico químico decorrente das reações entre os ácidos e líquidos presentes nos poros do concreto (HELENE; CUNHA, 2001). Em resumo a carbonatação em matrizes cimentícias, ocorre devido à reação do dióxido de carbono (CO_2) dissolvido em água no interior dos poros, com os hidróxidos $(\text{CaOH})_2$ presentes no concreto. Esta reação culmina na precipitação do carbonato de cálcio (CaCO_3) (SANTOS, RIBEIRO; 2021).

O potencial hidrogeniônico (pH) da solução que era de aproximadamente 13 devido a presença do hidróxido é reduzida para valores abaixo de 11, onde há a formação de componentes expansivos ferrosos, que culminaram na desagregação do concreto (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015).

Existem diversos fatores que influenciam a velocidade da evolução da profundidade carbonatada em concretos, entre os fatores ambientais destaca-se a concentração de CO_2 do ambiente, umidade do ar e saturação dos poros. Quanto

maior a concentração de CO_2 do ambiente maior vai ser a velocidade de carbonatação uma vez que a existência de CO_2 é condição necessária para a reação de carbonatação. A umidade também é condição essencial já que o CO_2 precisa se dissolver em água, mas quando em quantidade além da necessária impede que haja difusão do CO_2 , ou seja, em ambiente em que os poros estão completamente saturados de água a penetração de CO_2 é praticamente inexistente (SANTOS, RIBEIRO; 2021).

2.4.3. Corrosão química

Comumente chamada de corrosão seca, a corrosão química é uma reação gás-metal, entre um metal e a parcela gasosa presente no interior do concreto, com formação de uma película de óxido. Ela pode ser significativa também quando ocorre em altas temperaturas e geralmente ocasiona uma corrosão uniforme sobre toda superfície da armadura (PERAÇOLI, 2016)

Em armaduras de concreto armado esse tipo de corrosão se estabelece ainda no processo de fabricação das barras. Após sua fabricação, a superfície do aço entra em contato com o oxigênio à temperatura ambiente e provoca uma reação de oxidação formando uma película compacta e pouco permeável, que nestes casos podem até servir de proteção contra a corrosão úmida. (HELENE, 1993).

2.4.4. Corrosão eletroquímica

A iniciação do processo corrosivo se dá pelo transporte de agentes agressivos, como o dióxido de carbono, para o interior do concreto, o que desencadeia o processo corrosivo. Sendo assim, a concentração de agentes no ambiente e a característica da matriz do concreto são os fatores relevantes na iniciação da corrosão (FIGUEIREDO; MEIRA, 2013).

O processo conhecido como corrosão eletroquímica, implica na formação de uma pilha eletroquímica de corrosão com a presença de um ânodo, potencial mais

eletronegativo, que sofre oxidação e um cátodo onde ocorre a redução de elétrons. Existe uma diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo, caracterizada pelo mesmo metal, e uma ligação iônica através do eletrólito (PERAÇOLI, 2016)

2.5. DURABILIDADE

De acordo com a norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2024), a durabilidade de estruturas de concreto armado “consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”.

O item 6.1 da referida norma destaca pontos de grande importância a serem observados na fase de projeto, execução e utilização, complementando os conceitos e exigências de durabilidade.

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil NBR 6118 (ABNT, 2014).

Ademais o item 6.1 supracitado, no item 6.2 a norma define o termo de vida útil de projeto, conforme é apresentado.

Por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, [...]bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais (ABNT NBR 6118:2014).

A NBR 15575 (ABNT, 2021) mensura as necessidades dos usuários através de requisitos e critérios, que podem ser avaliados objetivamente pelos métodos de avaliação, esses requisitos traduzem o desempenho na sua forma qualitativa, enquanto o critério remete as necessidades dos usuários em termos quantitativos. Em outras palavras, os requisitos são as características qualitativas que cada um dos sistemas deve alcançar, de acordo com a necessidade dos usuários da edificação, enquanto os critérios, na acepção da norma, designam os parâmetros de cada um desses requisitos.

A NBR 15575 (ABNT, 2021) que estabelece no parágrafo 5.3 que cabe ao projetista estabelecer a vida útil do projeto (VUP) de cada sistema que compõe esta parte, cabendo ao mesmo o papel de especificar os materiais, produtos e processos que atendam ao desempenho mínimo estabelecido

Dada a importância do desempenho da impermeabilização em uma edificação, bem como a vida útil estimada de sistemas de impermeabilização. Nesse contexto a NBR 15575 (ABNT, 2021), visa assegurar os requisitos para durabilidade da impermeabilização, aliada à prática de especificação de projeto (levando em conta o desempenho) e de um plano de manutenção apropriado, a vida útil do sistema tende a ser prolongada, reduzindo o surgimento de manifestações patológicas e, como consequência, o consumo de recursos financeiros e naturais em intervenções corretivas.

2.6. IMPERMEABILIZAÇÃO

Um dos sistemas, cujo projeto e a estimativa da vida útil, costuma ser negligenciado é o de impermeabilização, ainda que, quando a impermeabilização não atender a seu objetivo, apresentando defeitos, o custo médio da impermeabilização é 1,06% do custo total da obra (LIMA, 2012).

Para Peraçoli (2016), adotar soluções para prevenção ou controle da corrosão em concreto armado é ação fundamental, especialmente em áreas urbanas com grande concentração de poluentes, ou litorâneas, que sofrem a influência da maresia, deste modo, existem diferentes opções que podem ser aproveitadas, mas o uso de inibidores de corrosão é a mais comum, devido à facilidade de aplicação do produto em comparação a outras técnicas de proteção.

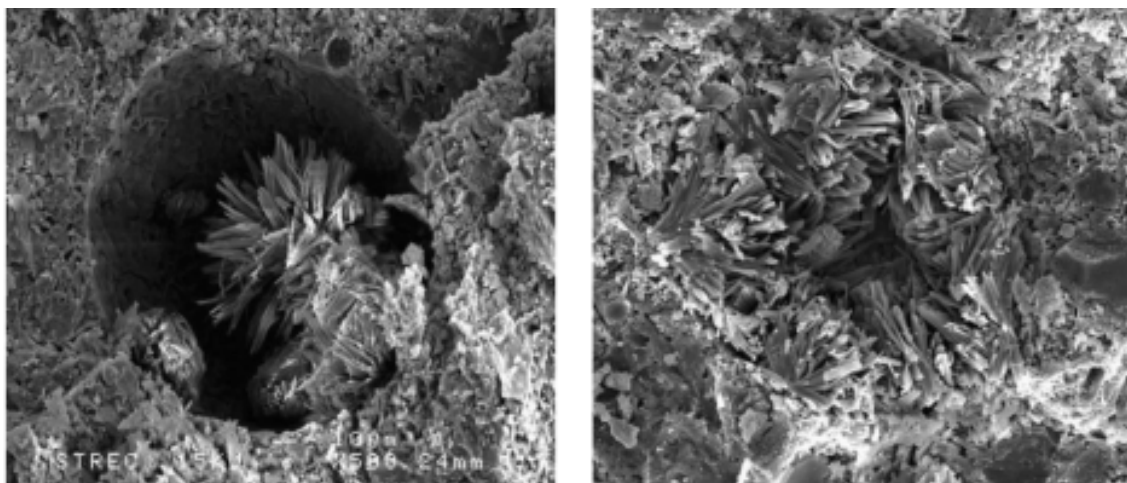
Muito utilizados, em concretos, os inibidores de corrosão, são substâncias que ao adicionadas em um determinado meio corrosivo e com quantidade certa, promovem mudanças na interface metal-eletrólito diminuindo assim a taxa de corrosão no meio (PERAÇOLI, 2016). Os inibidores de corrosão atuam como uma película protetora sobre áreas anódicas e catódicas interferindo na ação eletroquímica.

Segundo Costa (2019), os sistemas de vedação cristalina, apresentam uma

condição diferenciada dos sistemas de proteção superficial, pois além da possibilidade de aplicação junto a estruturas existentes, os sistemas de vedação cristalina podem ser incorporados à mistura do concreto, sendo parte integrante do seu traço. Estes sistemas possuem como principal característica a reação com a água e componentes do concreto reduzindo sua porosidade por meio da formação de cristais insolúveis, conforme a Figura1, incorporados a estrutura ocupando os espaços vazios presentes no mesmo.

Preenchendo esses vazios de forma a tornar a estrutura impermeável, não se limitando apenas à superfície das mesmas. Outra característica destes sistemas é a condição do reagente de manter-se inerte no interior da estrutura de concreto, e em caso de fissuração da mesma, diante da insurgência de água, ocorrerá a reação de cristalização podendo até preencher a fissura como um todo (COSTA, 2019).

Figura 1. Cristalização de poros.



Fonte: Kalsing 2020

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir encontram-se destacados os materiais e métodos empregados para a presente pesquisa, que visa avaliar por meio experimental o efeito da aplicação do aditivo redutor de permeabilidade como inibidor da corrosão em estruturas de concreto armado.

3.1. MATERIAIS

Os materiais empregados na mistura foram caracterizados conforme o Quadro 1 abaixo.

Quadro 1. Caracterização dos materiais.

Material	Ensaio	Normativa
Cimento	Massa específica	NBR 16605 (ABNT, 2017)
Agregado miúdo	Massa específica	NBR 9776 (ABNT, 2003)
	Massa unitária	NBR 16972 (ABNT, 2021)
	Análise granulométrica	NBR 7211 (ABNT, 2005)
Agregado graúdo	Massa específica	NBR 16972 (ABNT, 2021)
	Massa unitária	NBR 7215 (ABNT, 2019)
	Análise granulométrica	NBR 7211 (ABNT, 2005)

Fonte: Autoria própria, (2024)

Como aglomerante foi utilizado o cimento Portland do tipo CP II Z - 32 por ser o cimento comercializado em maior escala nos elementos que geralmente não são utilizados concretos usinados. A areia empregada é oriunda do Porto de Guaíra,

possui massa específica e unitária de 2650 e 1470 kg/m³, respectivamente, módulo de finura de 2,29 e diâmetro médio de partículas de 1,18, sendo classificada como areia média.

Utilizou-se agregado graúdo de origem basáltica (brita 1) da região de Matelândia – PR, com massa unitária de 2700 kg/m³ e massa específica de 1500 kg/m³. Para confecção do concreto utilizou-se o traço 1:2:3:0,55 (cimento, areia, brita e água). determinado conforme método de dosagem em obra.

Para a execução da atividade, utilizou-se do aditivo de impermeabilização por cristalização integral, conforme a Figura 2, adicionado ao traço do concreto no momento de sua produção.

Figura 2. Aditivo redutor de permeabilidade.



Fonte: Autoria própria, (2024)

Composto de cimento Portland, areia de sílica fina tratada e compostos químicos ativos, estes compostos químicos ativos reagem com a umidade do concreto fresco e com os produtos da hidratação do cimento formando uma estrutura cristalina insolúvel nos poros e capilares do concreto (COSTA, 2019). Dessa maneira o concreto se torna permanentemente selado contra a penetração de água ou de outros líquidos em qualquer direção. O concreto também é protegido da deterioração devido aos agentes agressivos da atmosfera.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 PRODUÇÃO DO PROTÓTIPO

Com o intuito de acelerar o processo de corrosão das armaduras foi produzido um ambiente com as condições necessárias à ocorrência de uma corrosão eletroquímica, são eles: o eletrólito, os eletrodos, diferença de potencial (Força eletromotriz que conduz a corrente) e oxigênio..

Para criação da diferença de potencial, um fio de cobre de 1,5 mm de diâmetro foi fixado à barra de aço (Figura 3). O qual foi ligado no terminal positivo da fonte e atua como ânodo no processo eletroquímico. Um outro fio foi inserido diretamente na solução e conectado ao pólo negativo, agindo como cátodo. Anteriormente à fixação dos fios de cobre, as barras tiveram sua massa registrada por meio de uma balança de precisão, para que possa ser avaliada sua perda de massa (se ocorrer) após o ensaio.

Figura 3. Armadura com cabo anexado de em formato espiral.



Fonte: Autoria própria, (2024)

O fio descascado foi envolto na barra de aço em forma de espiral e posicionado dentro das formas de madeira sobre um espaçador de 3 cm para garantir a manutenção do cobrimento no momento da concretagem, conforme Figura 4.

Figura 4. Armadura alocada na forma.



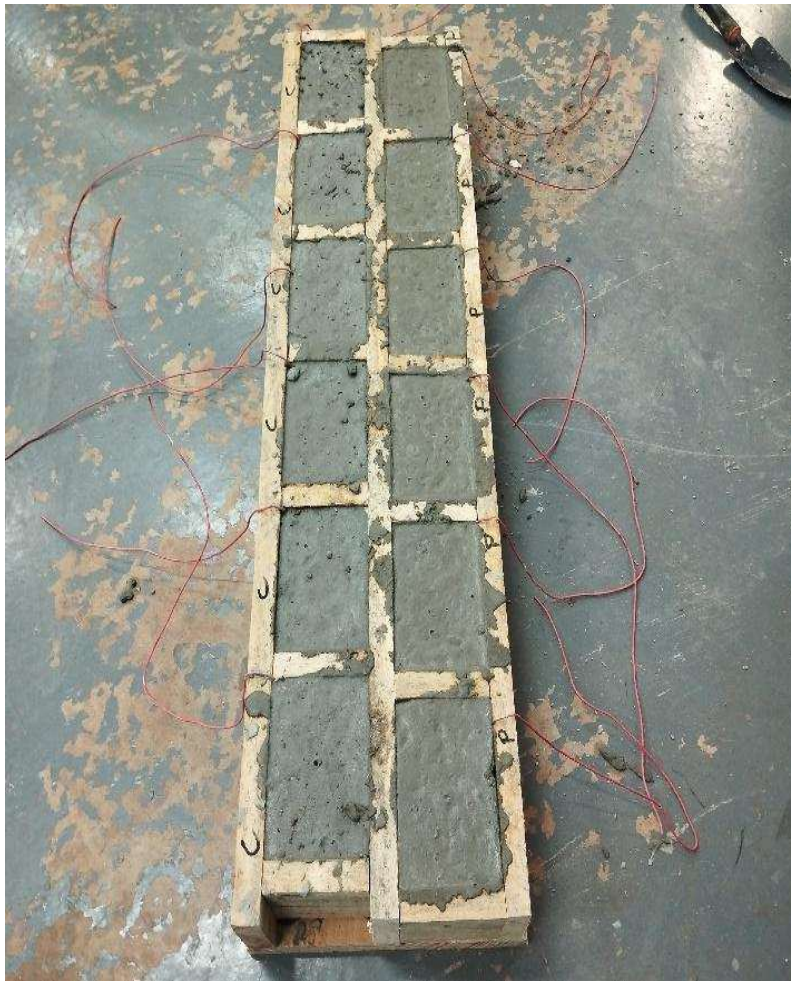
Fonte: Autoria própria, (2024)

3.2.2 Moldagem dos corpos de prova simulando elementos de concreto armado

Para realização do presente estudo foram produzidos, 06 corpos de prova (CP) cilíndricos para ensaio de resistência à compressão, os quais foram ensaiados 1 CP sem aditivo e 1 CP com aditivo aos 7 dias. Após 28 dias foram realizados os ensaios de 2 CPs sem aditivo e 2 CPs com aditivo.

Já para avaliar a proteção da armadura dado o uso de aditivo foram confeccionados 12 corpos de prova prismáticos medindo 10x10x15cm (06 com e 06 sem utilização de aditivo), conforme Figura 5. Tal nas condições explicadas no item 3.2.1.

Figura 5. Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria, (2024)

O concreto utilizado foi produzido nas dependências do Laboratório de Engenharia da Faculdade Uniguaçu com auxílio de uma betoneira mecânica. Após verificação da consistência do concreto com o ensaio de abatimento de cone (slump test), conforme preconiza a NBR 5738 (ABNT, 2003), efetuou-se a moldagem dos CP, tomando cuidado para que a barra não saísse do centro da fôrma e que o espaçador realmente garantisse o cobrimento.

Aos sete dias, foram rompidos os primeiros corpos de prova cilíndricos, que atingiram resistência de 21,6 Mpa, assim foram desformados os CPs prismáticos para imersão no ensaio.

3.2.3 Ensaio de Corrosão Acelerada por Imersão Modificada

Para avaliação da corrosão, foi seguido mesmo procedimento utilizado por Peraçoli (2016), para tanto, preparou-se uma solução de 35 g/L de cloreto de sódio (NaCl), concentração similar às águas do Oceano Atlântico, na qual os CP foram imersos.

A altura da solução adotada coincidiu com a do cobrimento do concreto, 4 cm, facilitando a entrada de oxigênio e de umidade no sistema, necessários ao início da corrosão, conforme a Figura 6.

Figura 6. Corpos de prova submersos.



Fonte: Autoria própria, (2024)

O ensaio acelerado foi realizado com os CP ligados em série para que a corrente permanecesse a mesma. A corrente elétrica passa pelos fios de cobre

incitando os íons para que penetrem no corpo-de-prova e atinjam a barra de ferro, acelerando assim o processo corrosivo. Para realização do ensaio houve a necessidade de adaptar uma fonte de 25 A convertendo a tensão 127/220V AC (Corrente Alternada) para 12 V DC (Corrente Contínua). Porém a mesma permaneceu ligada durante 7 dias, conforme Figura 7.

Figura 7. Interligação do circuito em série.



Fonte: Autoria própria, (2024)

3.2.4 Ensaio de resistência à compressão e corrosão de armadura

Os ensaios de caracterização foram realizados aos 7 e 28 dias, conforme Quadro 2 abaixo. Para a validação da resistência à compressão seguiu-se aos ritos descritos na NBR 5715 (ABNT, 2015)

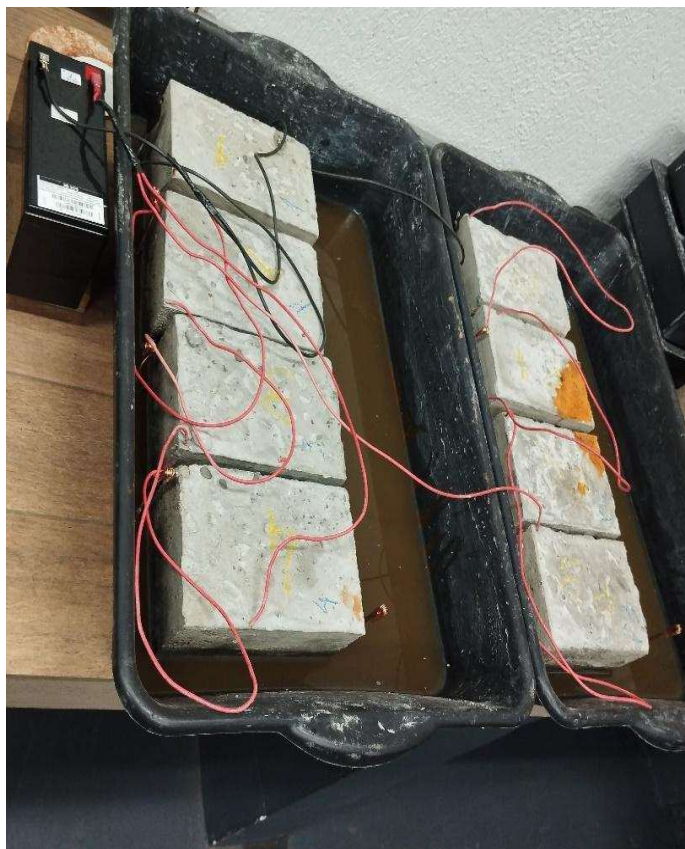
Quadro 2. Quantitativo de amostras de CP.

Data Ensaada	Resistência à compressão		Corrosão das armaduras	
	CP sem aditivo	CP com aditivo	CP sem aditivo	CP com aditivo
07 dias	01	01	02	02
28 dias	02	02	04	04

Fonte: Autoria própria, (2024)

Decorridos 7 dias, do início do ensaio foi necessário substituir a fonte utilizada, pois a mesma se danificou pelo fato de não possuir estabilizador. Assim optou-se por substituir a fonte existente por uma bateria 12 V com 7 A, conforme a Figura 8, para poder validar os 21 dias de ensaio restantes.

Figura 8. Instalação de bateria 12V 7A.



Fonte: Autoria própria, (2024)

3.2.5 Limpeza das barras

Após a extração das armaduras dos corpos de prova, promoveu-se a limpeza das barras para fins de remoção de incrustações e resíduos de concreto, para tanto, utilizou-se de uma solução com concentração de 10 % de ácido clorídrico, e 90 % de água destilada. (Figura 9).

Figura 9. Disposição das barras na solução.



Fonte: Autoria própria, (2024)

Seguindo os requisitos de segurança, as barras ficaram por aproximadamente 30 minutos submersas na solução, em uma capela, até que todas as impurezas fossem retiradas. Esta concentração e tempo foram previamente testadas, conforme Pereçoli (2016) a fim de que conseguisse remover as impurezas sem danificar a armadura (Figura 10).

Figura 10. Armaduras submersas em solução de Ácido clorídrico.



Fonte: Autoria própria, (2024)

Após esse procedimento, para retirar algum resquício de corrosão presente, as barras foram lavadas com água corrente por 50 vezes, sendo em seguida, secas em estufa, a temperatura de 100°C, por 15 minutos. Finalizado o processo de limpeza, as barras de aço estavam prontas para serem avaliadas.

3.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise das amostras seguiu três fases distintas: inspeção visual, avaliação de perda de massa e grau de corrosão. A avaliação da perda de massa se deu através das pesagens das amostras, conforme a Figura 11, e da comparação de suas massas antes e depois da realização do ensaio. Já o grau de corrosão é dado por uma fórmula em função da perda de massa da armadura. Ambos os resultados foram analisados pelos valores médios das amostras.

Figura 11. Avaliação da massa das armaduras.



Fonte: Autoria própria, (2024)

A perda de massa é calculada pela diferença da massa inicial e da massa final após o ensaio. O grau de corrosão é calculado pela seguinte equação 1, disposta no Quadro 3.:

Quadro 3. Equação grau de corrosão.

$$GC(\%) = \frac{m_{cons}}{m_{inc}} \times 100$$

Onde:

GC = Grau de corrosão (%)

m_{cons} = Massa da barra de aço consumida pela corrosão (g)

m_{inc} = Massa inicial da barra de aço (g)

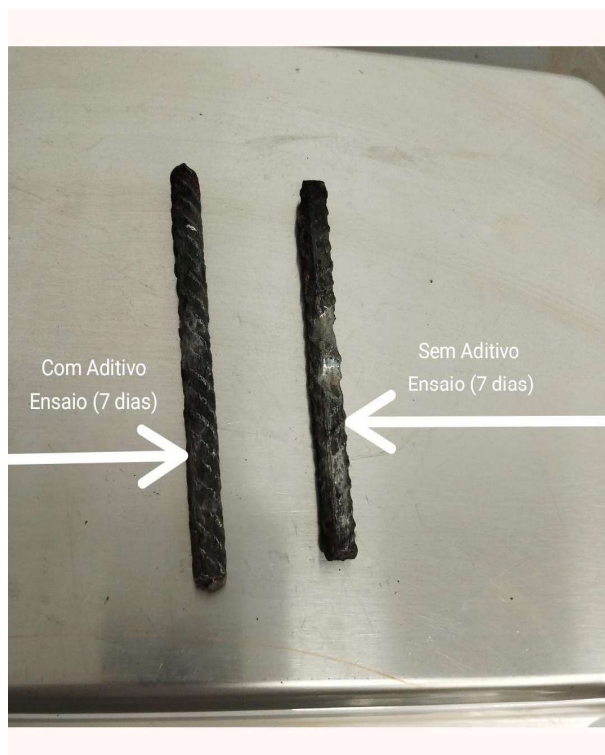
Fonte: Autoria própria, (2024)

4. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

4.1. VERIFICAÇÃO VISUAL

A inspeção visual ocorreu inicialmente com 7 dias, através dos corpos de prova amostrados (Figura 12). Na imagem abaixo pode-se observar que visualmente é possível constatar uma maior oxidação das armaduras que estavam no concreto onde não foi utilizado aditivo impermeabilizante.

Figura 12. Armadura após o ensaio de corrosão com 7 dias.



Fonte: Autoria própria, (2024)

A recomendação do fabricante do aditivo utilizado prevê um prazo de 18 dias para total performance do impermeabilizante. Desta forma, seguiu-se com os ensaios por mais 21 dias.

4.2. PERDA DE MASSA E GRAU DE CORROSÃO

O ensaio de perda de massa e determinação do grau de corrosão foi realizado em duas datas distintas, 14 e 28 dias. Do ensaio de perda de massa e grau de corrosão, realizado aos 7 dias obteve-se o Quadro 4 abaixo:

Quadro 4. Perda de massa e grau de corrosão das armaduras, ensaio de 7 dias.

Composição	Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa cons. (g)	Grau de corrosão (%)
Sem Aditivo	1	68,5	57,7	10,8	15,8
	2	73,2	72,9	0,3	0,4
Com Aditivo	1	68,4	63,8	4,6	6,7
	2	67,6	67,4	0,2	0,3

Fonte: Autoria própria, (2024)

As amostras analisadas, passaram por um critério de seleção, de modo que as amostras com valor inferior de corrosão a 0,4%, foram desclassificadas, considerando que o grau de corrosão inferior a este valor é baixo para os parâmetros determinados no item 3.3 deste trabalho. Assim, como exposto no quadro anterior, foi possível avaliar 4 amostras de cada período, sendo 2 com aditivo, 2 sem aditivo aos 7 dias.

Do ensaio de perda de massa e grau de corrosão, realizado aos 28 dias obteve-se o Quadro 5 abaixo:

Para as amostras sem uso de aditivo, é notável o equilíbrio dos níveis de corrosão em ambos os ensaios de 7 e 28 dias, possibilitando a análise de eficiência do ensaio de corrosão acelerada em virtude do meio característico.

Quadro 5. Perda de massa e grau de corrosão das armaduras, ensaio de 28 dias.

Composição	Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa cons. (g)	Grau de corrosão (%)
Sem Aditivo	1	73,1	61,9	11,2	15,3
	2	68,5	57,7	10,8	15,8
	3	71,1	70,9	0,2	0,3
	4	70,6	70,5	0,1	0,1
	5	73,1	72,9	0,2	0,3
	6	71,5	71,4	0,1	0,1
Com Aditivo	1	70,9	70,7	0,2	0,3
	2	67,5	67,4	0,2	0,3
	3	71,9	71,8	0,1	0,1
	4	68,4	68,3	0,1	0,1
	5	67,6	67,3	0,3	0,4
	6	68,4	63,8	4,6	6,7

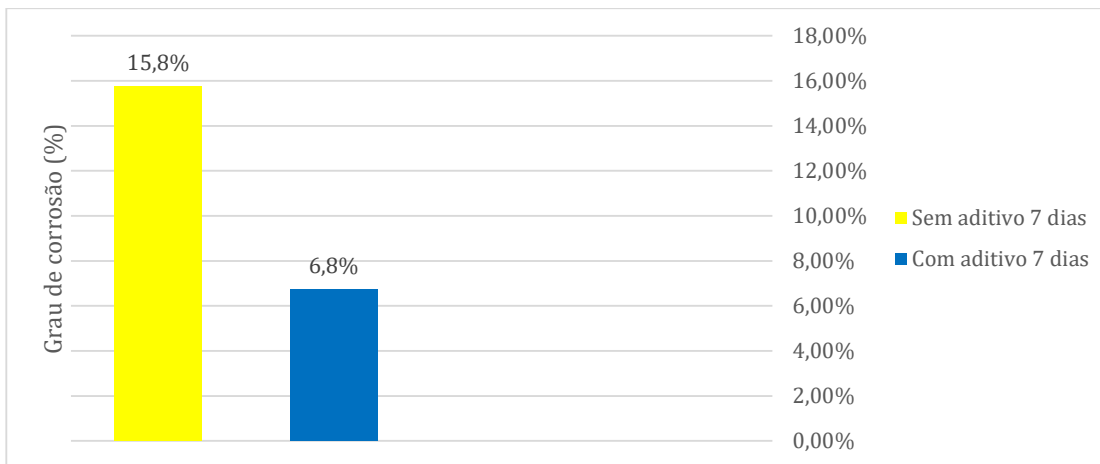
Fonte: Autoria própria, (2024)

Assim, como exposto no quadro acima, foi possível avaliar 4 amostras de cada período, sendo 2 com aditivo, 2 sem aditivo aos 28 dias.

Nota-se que nas amostras com o uso de aditivo impermeabilizante, uma redução dos níveis de corrosão nos períodos de 7 e 28 dias, valores os quais, caracterizam, a eficiência da impermeabilização dos corpos de prova.

Verifica-se, nas amostras com o uso de aditivo, um grau de corrosão mais elevado no início do período, aos 7 dias, conforme o Quadro 6.

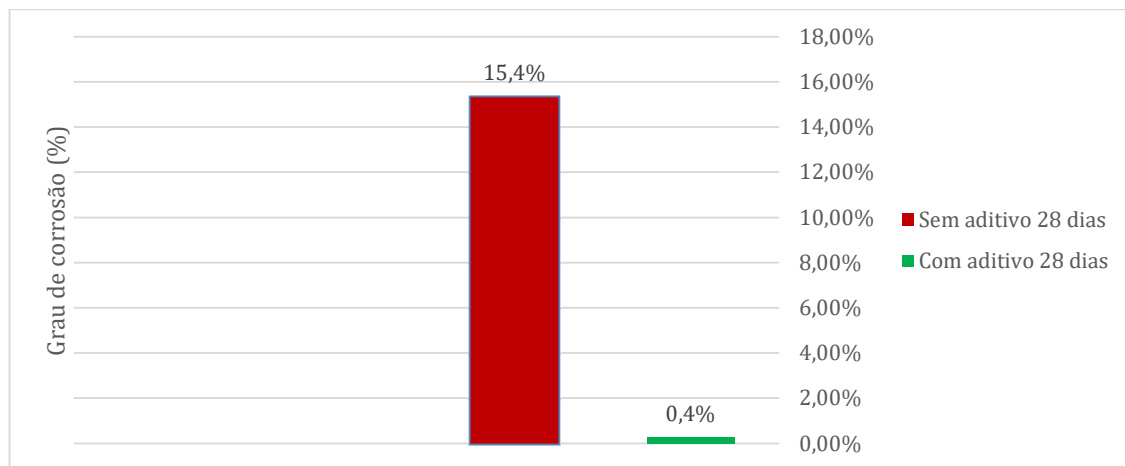
Quadro 6. Grau de corrosão, ensaio de 7 dias.



Fonte: Autoria própria, (2024)

Contudo, no decorrer dos 28 dias esses valores se aproximam de zero, fator este que não ocorre nas amostras sem uso de aditivo. Conforme o Quadro 7.

Quadro 7. Grau de corrosão, ensaio de 28 dias.



Fonte: Autoria própria, (2024)

Em trabalhos como o de Peraçoli (2016), o autor afirma que a fase de início da corrosão se dá no intervalo com grau de corrosão entre 0,0% e 5,0% e que acima de 5,0% a reação é desencadeada até que seja consumida por completa ou mesmo interrompida. Ainda complementa o autor, definindo que o alto grau de corrosão

pode ter ocorrido pelos mesmos fatos apresentados para a perda de massa elevada: utilização de concentração mínima, pouco tempo de hidrólise ou de ensaio, não correção do pH.

Deste modo os resultados obtidos evidenciam a efetividade do aditivo ao processo corrosivo e confirmam a viabilidades de uso do mesmo, tendo em vista que as amostras ensaiadas, seguiram todos os processos baseados nas respectivas normas.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar o efeito da aplicação do aditivo redutor de permeabilidade, a fim de reduzir a corrosão em armaduras de concreto armado. Através de inspeção e controle do grau de corrosão, foi possível identificar a eficiência da impermeabilização adotada.

Foi possível identificar os níveis de corrosão em 4 das 12 barras amostradas, constatando que o ensaio de corrosão teve um aproveitamento suficiente para concluir que a eficiência do aditivo foi alcançada. Já nos primeiros 7 dias de ensaio obteve-se 15,8% de corrosão em armadura sem uso de aditivo e 6,8% em armadura com o uso de aditivo. Porém, surpreendentes foram os resultados dos ensaios de 28 dias, onde, as armaduras sem uso de aditivo apresentaram 15,4% de corrosão e 0,4% em armadura com o uso de aditivo.

Através destes valores, validou-se a especificação do fabricante, disposta na ficha técnica do produto, disponibilizada pelo fabricante, através do Portal Penetron. Neste documento há a especificação que o aditivo obtém sua performance total após 18 dias, assim conclui-se neste trabalho a consolidação da eficácia do aditivo redutor de permeabilidade, na proteção da armadura, como inibidor de absorção de água e sais, que são veículos aceleradores de corrosão.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar a modificação do circuito de série para paralelo, acelerando a corrosão em todas as barras;
- Utilizar uma bateria acima de 40 A para ser mais efetivo o processo de corrosão;
- Utilizar um carregador com estabilizador, para manter a carga da bateria;
- Avaliar os níveis de corrosão em outros meios.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 9575**: Impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 9776**: Agregados – Detrminação de massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 16972**: Agregados – Detrminação de massa unitária e índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 5378**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 15575**: Norma de Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 15575**: Norma de Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

BARALDI, C. B.; CAMARGO, D. J. **Análise granulométrica de areias – Porto Figueira – PR**. 2016. Projeto de pesquisa — Universidade Estadual de Maringá - DTC/Campus Umuarama. Umuarama. 2016.

BEZERRA, Aline dos Santos. **Resistência Mecânica do Concreto**. 2019. 35. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Pitágoras, São Luís, 2019.

BRAGA, Natália Maria Teixeira. **Patologias nas construções: Trincas e fissuras em edifícios**. 2010, 16f. Universidade Federal De Minas Gerais - Departamento de Engenharia de Materiais de Construção, Curso de Especialização em Construção Civil. Minas Gerais - Belo Horizonte, 2010.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. **Avaliação da eficiência de sistemas de reparo no combate à iniciação e à propagação da corrosão do aço induzida por cloreto**. 2000. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CARMONA, Thomas Garcia, **Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado) em Engenharia – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005.

CORSINI, R. **Como se originam, quais os tipos, as causas e as técnicas mais recomendadas de recuperação de fissuras**. *Téchne*, São Paulo, 160, p. 1-9, jul., 2010

COSTA, Ayrton Vianna. **Patologia e Durabilidade das Estruturas de Concreto. Notas de aula (especialização em construção civil)** – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte: 2019.

COUTO, J. A. S. et al. **O concreto como material de construção**. *Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas – Sergipe*, v.1, n.17, p. 49-58, 2013,

CUNHA, Ana Caria Quintas da; HELENE, Paulo R. L. **Despassivação das armaduras de concreto por ação da carbonatação**. São Paulo: EPUSP, 2001.

FIGUEIREDO, E. P.; MEIRA, G. **Corrosão das armaduras das estruturas de concreto**. 2013. 16f. Boletim Técnico – Associação Latino Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construções – ALCONPAT Int. Mérida – México, 2013.

GRAEFF, Ângela Gaio. **Avaliação experimental e modelagem dos efeitos estruturais da propagação da corrosão em elementos de concreto armado.** 2007. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

GROSSI, F. V. M. **Análise de um edifício de concreto armado com problemas de oxidação de armaduras.** Revista técnico - científica CREA - PR. Ed. Especial, p. 1-17, 2017.

HELENE, P. A Nova ABNT NBR 6118 e a Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: Seminário de Patologia das Construções, 2, 2004, Porto Alegre. Proceedings... Porto Alegre: **Novos Materiais e Tecnologias Emergentes**, LEME, UFRGS, 2004. v. 1. p. 1-30.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** 1993. 231 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Corrosão de armaduras para concreto armado.** São Paulo: Epusp, 1986.

KALSING, Felipe Schneider. **Causas e efeitos da carbonatação na durabilidade do concreto armado.** 2020, 21f. Universidade Federal De Minas Gerais - Departamento de Engenharia de Materiais de Construção, Curso de Especialização em Construção Civil. Minas Gerais - Belo Horizonte, 2020.

LEITE, H. R.; GIRARDI, R.; HASTENPFLUG, D. **Durabilidade do Concreto: Análise dos Requisitos dos Materiais Constituintes.** Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana n.8 (2018) pp. 14-25.

LIMA, Douglas Mateus. Revista da Estrutura de Aço – REA – Volume 07. 2018 Roberto Inaba. Construções Metálicas: **O uso do Aço na Construção Civil.** Artigo técnico. 2017

LIMA, J. L. A. **Processo Integrado de Projeto, Aquisição e Execução de Sistemas de Impermeabilização em Edifícios Residenciais: diagnóstico e proposição de melhorias de gestão.** Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade Cimatec, Salvador, 2012.

MACEDO, J. V. - **Manifestações Patológicas Causadas Pela Umidade Devido À Falha Ou Ausência De Impermeabilização: Estudo De Caso.** Universidade de Pernambuco, 2017.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Ibracon - Instituto Brasileiro de Concreto, 2008.

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

PELLIZZER, Giovanni Pais, **Análise mecaânica e probabilística da corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado submetidas á penetração de cloretos.** 2015. 59 f. Dissertação (Mestrado) em Engenharia – Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Paulo. 2015.

PERAÇOLI, Thiago Henrique Tezolim: **Estudo Comparativo Da Eficiência de Tratamentos Superficiais Contra Corrosão Em Armaduras Para Concreto Armado.** Universidade Estadual de Maringá, Campus Regional de Umuarama, Umuarama, 2016.

PETRUCCI, R. De. S. **Influência do aditivo cristalizante na porosidade do concreto de cimento Portland.** Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

PORTAL PENETRON. **Impermeabilizante por cristalização na forma de aditivo para o concreto – Penetron Admix.** Disponível em: <https://penetron.com.br/produtos/penetron-admix/>. Acesso em: 26 de jun. de 2024.

RUSSO, R.; SANTOS, S. **Análise do comportamento do concreto produzido com aditivo cristalizante quando submetido à fissuração induzida.** Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2020. (Projeto aprovado pelo Art. 170 – VREAC/UNIVALI).

SANTOS, B. S; RIBEIRO, D. V. **Influência dos finos de rocha granítica (FRG) nas propriedades físico-mecânicas e na reação álcali-agregado (RAA) de argamassas.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 14, n. 2, 2021.

SOARES, F. P. A.; VASCONCELOS, T. L.; NASCIMENTO, C. B. F. Corrosão em armaduras de concreto. **Ciências exatas e tecnológicas**. v.3, n.1, p.177-188, 2015.