



ESTUDO DE CASO: O EFEITO DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SOB A AÇÃO DA MARESIÀ NA PRAIA DE TIBAU/RN

Elói Romão dos Santos Souza¹

Luiz Ferreira da Silva Filho²

Gecílio Pereira da Silva³

Resumo: Este trabalho teve como objetivo analisar e diagnosticar o processo corrosivo que ocorre em armaduras, mais especificamente estruturas de concreto armado de algumas construções que estão localizadas na orla marítima da cidade de Tibau/RN. Para determinação da probabilidade de corrosão existente nestas armaduras foi usado o ensaio do método de potencial elétrico conforme especificada na Norma ASTM 876-91. O procedimento foi realizado em três construções, as quais foram primeiramente analisadas de acordo com as instruções das pesquisas dos profissionais da área, presentes em livros e publicações científicas. Em seguida foram realizadas as medidas de potencial elétrico de acordo com a Norma do ASTM 876-91 para determinação da probabilidade de corrosão. De acordo com a Norma os valores dos potenciais elétricos experimentalmente encontrados indicam um processo acelerado de corrosão, o que de certo modo já era esperado tendo em vista a visível deterioração das estruturas analisadas.

Palavras-chave: corrosão; maresia; armadura; potencial elétrico.

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado é um material que teve sua utilização iniciada no século XIX, e que, por certo período de tempo, foi considerado um material eterno. No entanto, essa tese foi descartada após as estruturas construídas com este material apresentarem falhas (SOARES et al., 2015). Atualmente, sabe-se que a corrosão é um dos principais causadores de problemas nestas estruturas, demandando em muitos desafios aos profissionais da área.

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

Antigamente, quando se falava sobre esse processo de oxidação, não se imaginava que estaria presente em materiais não metálicos (concreto), segundo Gentil (2011). Porém, há algum tempo, essa ação corrosiva vem fazendo com que haja uma mobilização nesta concepção, visto que afeta a vida útil do material, ocasionando a “morte” da estrutura, sendo comparado à sua ruína. Dependendo do tipo e porte da obra, a ruína de uma edificação pode ocasionar perdas de centenas de vidas, além de perdas financeiras (FRANÇA et al., 2011).

¹ Acadêmico do Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, e-mail: eloirsouza0@gmail.com;

² Professor Dr na Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, e-mail: luiz.filho@ufersa.edu.br;

³ Professor Dr na Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, e-mail: gecilio@ufersa.edu.br.

Gentil (2011) afirma que são vários os fatores que podem contribuir diretamente para a degradação e aceleração do processo corrosivo neste material. Mas, existem também várias formas de prevenir, proteger e reparar o mesmo.

Para Cabral (2000), o comportamento das estruturas é influenciado pelas ações do meio ambiente, sabendo que as mesmas são atacadas por agentes agressivos (íons e gases) do meio para qual ela foi projetada e construída, devendo satisfazer certos requisitos que deve conter em toda obra, segurança, durabilidade e funcionalidade.

Sabendo da importância de como o concreto armado irá se comportar sob efeitos da ação do intemperismo por intermédio de fatores presentes no ambiente, Fortes (1995) explica que nas regiões sobre o mar ou próximas da orla marítima a agressividade do meio é devido à umidade relativa do ar, cloretos de sódio e magnésio. Esses agentes são extremamente agressivos e aumentam a velocidade de corrosão.

Cidades litorâneas, como Tibau, estão diretamente expostas a uma névoa fina e úmida, conhecida como maresia. Esta é formada por várias partículas de água salgada, que devido a agitação do mar, são levadas pelo vento e se espalham por toda parte, podendo chegar a quilômetros de distância do mar. Sendo altamente corrosiva, seu efeito é visto de forma mais comum em metais, através de ferrugem, degradação de equipamentos eletrônicos, em móveis, mas também na estrutura. A maresia atua nas ferragens presentes na edificação, entrando através de microfissuras ou até mesmo pela porosidade do concreto.

O concreto armado utiliza barras de aço, tendo como vantagem a elevada resistência à compressão e por poder suportar uma boa quantidade de esforços de tração, além de ser mais durável. Quando esta estrutura é corroída coloca em risco toda a construção, comprometendo sua aplicabilidade. De acordo com Gentil (2011), logo após a formulação do concreto, é possível evitar a ocorrência da corrosão, existindo também formas preventivas a serem utilizadas na fase de execução do projeto. Por essa razão, devem ser estudados e analisados os métodos necessários para, se possível, evitar a manifestação patológica, impedindo gastos maiores em sua recuperação, seja por meio da utilização de aditivos ou alterações no concreto; ou caso a patologia já esteja presente, encontrar meios para seu tratamento de maneira que a mesma seja eliminada da edificação.

Diante do exposto constata-se a necessidade de aplicar um método de avaliação capaz de fornecer informações precisas sobre o efeito da corrosão em estruturas de concreto armado sob a ação da maresia existente na praia de Tibau/RN.

2. DESENVOLVIMENTO

O concreto é um material de construção que tem como sua principal característica a durabilidade, fator esse importante para a avaliação de um projeto. As estruturas que são constituídas pelo material são projetadas e executadas para manter as mínimas condições exigidas para o bom funcionamento de uma obra, sem previsão de custos voltados à manutenção e reparo.

A constituição do concreto se dá pela fusão de cimento, areia, água e agregados de diferentes tamanhos – normalmente grãos. De acordo com Gentil (2011), as matérias-primas utilizadas na fabricação do cimento portland são, principalmente, calcários, sílica, alumina e óxido de ferro. Essas substâncias quando aquecidas reagem entre si, formando assim, os principais componentes do cimento.

Silicato tricálcico..... $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_3S)

Silicato dicálcico..... $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_2S)

Aluminato tricálcio..... $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)

Ferro aluminato tetracálcico..... $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF)

Além desses, existem, em pequenas porcentagens: MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O , Na_2O e CaSO_4 .

O concreto, dependendo das condições em que ele está acomodado, torna-se suscetível a sofrer manifestações patológicas, como a corrosão. O estudo dessa patologia é de grande importância, pois além de causar a sua deterioração, pode afetar a durabilidade e estabilidade das estruturas. A armadura não costuma sofrer com as ações patológicas, a não ser que ocorram contaminações através de fissuras e danificação do concreto. Por esse fato, se pode afirmar que, quanto mais o concreto se manter inalterado, mais a sua armadura estará protegida. São maioria os casos onde a armadura não apresenta nenhuma alteração em suas propriedades mecânicas e

físicas devido ao ataque corrosivo. No entanto, ocorrem alguns casos em que a corrosão da armadura é bastante rápida e progressiva.

Os fatores em que a corrosão está ligada são físicos, mecânicos, biológicos ou químicos, entre os quais, alguns exemplos que podem ser citados são:

- i. Mecânicos - vibrações e erosão;
- ii. Físicos - variações de temperatura;
- iii. Biológicos - bactérias;
- iv. Químicos - produtos químicos como ácidos e sais.

A deterioração pode ocorrer de forma química, onde a ação acontece na pasta de cimento e no agregado. A corrosão por ato eletroquímico pode ocorrer na armadura. Quando acontece por meio químico, pode-se observar a expansibilidade do concreto, desgastes de componentes e ataque do cimento por ácidos. A corrosão eletroquímica do aço presente nas armaduras pode apresentar corrosão uniforme, puntiforme, intergranular, transgranular e fragilização pelo hidrogênio. Segundo Gentil (2011), as três últimas formas de corrosão têm seu nível de gravidade elevado, uma vez que se tem combinado ação de solicitações mecânicas e meio corrosivo ocorrendo a corrosão sob tensão fraturante, com a consequente fratura da armadura. Por outro lado, o autor ainda afirma que a forma uniforme, por se apresentar distribuída em toda a extensão da superfície metálica, não ocasiona consequências graves.

Devem-se levar em consideração no estudo as variáveis dependentes do meio corrosivo, material e condições operacionais. Isso para que se obtenha o esclarecimento dos mecanismos do processo patológico. Gentil (2011) cita três variáveis importantes: o meio corrosivo que está ligado às condições onde são impostas pelo ambiente - a composição química, concentração, pH, temperatura e sólidos em suspensão; o material que deve ter análise em suas propriedades e estudado a aquisição do produto; e as condições operacionais - solicitações mecânicas, movimento relativo entre o material e o meio e condições de imersão no meio. Toda essa investigação deve ser feita procurando o devido esclarecimento da ação de cada uma das variantes citadas, para que então possa ser indicada a mais adequada medida de proteção, levando-se em conta não somente o ponto de vista da corrosão como também o econômico.

Espera-se para a armadura esteja protegida, quando usada em concreto, devido à presença do hidróxido de cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que se forma durante o processo de hidratação do cimento, tornando assim o meio alcalino, pH em torno de 12,5 (meio básico ou alcalino). Outro fator protetor do metal é a ação isolante da massa de concreto.

O método de medir potenciais de estruturas de concreto mostrou que o comportamento da armadura poderia ser avaliado desde que se adotem as faixas de potenciais, constantes da Norma ASTM 876-91, que adota como critério para essa avaliação o eletrodo de sulfato de cobre (ESC) e calomelano saturado (ESC), apresentados na Tabela 1.

Sulfato de cobre	Calomelano saturado	Probabilidade de corrosão
mais negativo que -350 mV	mais negativo que -276 mV	superior a 90%
mais positivo que -200mV	mais positivo que -126mV	inferior a 10%
de -200 a -350mV	de -126 a -276mV	incerta

Tabela 1 – Probabilidade de corrosão através do E_{corr} , ASTM 876-91.

Esta técnica apresenta inúmeras vantagens, dentre as quais se cita:

- Monitoramento da estrutura;
- Levantamento de potenciais eletroquímicos;
- Método não destrutivo;
- De rápida e fácil execução.

No entanto, no estudo da corrosão em concretos não se deve levar em consideração apenas os fatores capazes de agir sobre a armadura, Gentil (2011) esclarece a necessidade de se pontuar aqueles agressivos à pasta de cimento e/ou agregados, ou relacionados a características do concreto, como a porosidade, permeabilidade e

resistividade. Dentre os mais frequentemente fatores que tem causado a perda da durabilidade do concreto estão: lixiviação - eflorescência, carbonatação, ácidos, bases - reação álcali-agregado, sais, bactérias, gás sulfídrico e sulfetos, e o fator que será o foco da pesquisa, água do mar.

As estruturas de concreto presentes em regiões litorâneas estão bastante sujeitas à corrosão devida à existência de cloreto e de sulfato solúveis. Porém, deve-se salientar que o posicionamento dessas estruturas possibilita que diferentes áreas fiquem sujeitas à corrosão da água do mar:

- Permanentemente submersa;
- Variação de maré: máxima e mínima;
- Respingos;
- Atmosférica: névoa e salina;
- Enterrada.

Gentil (2011) explana que na área submersa, o concreto tem condições de resistir à corrosão. Na área de variação de maré, devido à ação alternada de molhabilidade e secagem, é ocasionada a saturação do material com água do mar e evaporação dessa água. Essa última ação ocasiona acúmulo de sais na superfície do concreto e possível permeação do concreto, tornando a área mais sujeita a corrosão. Na área de respingo, situada um pouco acima da região de maré máxima, tem-se frequente molhabilidade devida ao choque de ondas, o mecanismo da deterioração do concreto nessa área é o mesmo de variação de maré, sendo normalmente mais intensa. No meio atmosférico a estrutura fica sujeita a ação de névoa salina e a corrosão é menos severa do que nas citadas anteriormente. Na área enterrada, não se observa corrosão.

3. MATERIAL E METODOLOGIA

3.1 Materiais

Para o desenvolvimento e procedimento da pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais:

- Sulfato de cobre (CuSO_4);
- Fio de cobre;
- Seringa;
- Multímetro;
- Conector - garra de jacaré;
- Esponja;

Os cinco primeiros utensílios foram disponibilizados pelo laboratório da UFERSA.

Figura 1 – Materiais utilizados na pesquisa.



Fonte: autoria própria.

3.2 Métodos

O presente trabalho tem por modo de pesquisa a explicativa, que tem por finalidade esclarecer as causas e os efeitos da corrosão em estruturas de concreto armado devido a maresia na cidade de Tibau/RN, partindo de

revisão bibliográfica composta por alguns autores e especialistas da área, principalmente tomando como base o estudo do autor Vicente Gentil, por meio da sua obra Corrosão (2011).

O estudo de caso foi realizado em três edificações da cidade, permitindo que os dados extraídos e as devidas informações fornecidas fossem retirados diretamente da realidade do objeto estudado através do método de avaliação do potencial de corrosão das armaduras, adotando as constantes presentes na Norma ASTM 876-91, que verifica a corrosão das ferragens no interior do concreto armado.

Partindo do regulamento descrito e com os materiais disponíveis, a solução de Sulfato de cobre (CuSO_4) será colocada na seringa, com o fio de cobre dentro da mesma, onde em uma extremidade será adicionada uma membrana, para evitar a passagem da solvência. Após esse primeiro passo ser realizado, a solução ficará em repouso para que sature. Em seguida, a pesquisa será realizada em campo, onde um dos cabos do multímetro será conectado a armadura e o outro ao fio de cobre, através do conector - garra de jacaré. Previamente deverá ser molhada a região na qual haverá essa conexão, como também a esponja. O multímetro será ligado a uma medida de 2000mV ou 2V para avaliar-se o potencial das estruturas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostra 1 está localizada a poucos quilômetros da Praia do Ceará, na cidade de Tibau/RN, na rua Neném Marciano. A edificação não se encontra beira-mar, mas por estar próxima ao litoral, está em alta exposição ao ataque da maresia.

Figura 2 – Efeito corrosivo em estrutura da amostra 1.



Fonte: autoria própria.

De início, observa-se a exposição da armadura. O revestimento de concreto já não existe mais, fazendo com que o interior da estrutura fique exposta. Logo em seguida, a análise do ferro permite chegar à conclusão que a corrosão se encontra em estado avançado, onde as suas propriedades já estão sendo perdidas. Com a realização do método '*in situ*', a voltagem determinada pelo multímetro foi -0,387V ou -387mV.

A segunda amostra se encontra à beira-mar, na Praia do Ceará, na cidade de Tibau/RN, sofrendo totalmente com os efeitos da maresia em sua estrutura.

Figura 3 – Armadura exposta na amostra 2.



Fonte: autoria própria.

Figura 4 - Corrosão na amostra 2.



Fonte: autoria própria.

Nota-se, em sua avaliação, o alto nível do processo corrosivo em que se encontra a residência. Há pontos em que o revestimento está corroído e outros em que o mesmo já não existe mais. Com isso, a ferragem fica totalmente à mostra, extremamente afetada e com perda total de suas propriedades, desgastada e faltando pedaços da sua estrutura. O risco que se encontra essa construção é muito alto, onde toda a composição dos seus materiais não cumpre com sua finalidade. Após o procedimento do ensaio, a voltagem diagnosticada foi $-0,596V$ ou $596mV$.

A terceira amostra encontra-se no mesmo perímetro da primeira, estando próxima ao mar. Sendo assim, não está ileso aos efeitos causados pelo ataque da maresia ao longo do tempo. Percebe-se que o prédio não possui nenhum tipo de manutenção, uma vez que a sua armação se encontra visível no portão de entrada.

Figura 5 - Armação visível na amostra 3.



Fonte: autoria própria.

Figura 6 – Efeito corrosivo na terceira amostra.



Fonte: autoria própria.

O seu revestimento está caído em alguns pontos, fazendo com que sua armação fique no exterior, facilitando o ataque da maresia e sofrendo com as reações eletroquímicas devido ao processo da corrosão. Nesse exame, a ferragem não estava deteriorada a ponto de estar quebrando ou faltando alguma parte do seu material. No entanto a mesma não cumpre com sua finalidade devido sua exposição ao agente erosivo. Em seu ensaio, foi apresentado a medida de $-0,481\text{V}$ ou -481mV .

Com os dados adquiridos através do experimento descrito pela Norma ASTM 876-91 e com a análise realizada com os valores apresentados na Tabela 1, todas as medidas encontradas têm o seu valor mais negativo que -350mV . Logo, a probabilidade de corrosão é superior a 90%.

O resultado obtido através dos ensaios pelo método de potencial elétrico conforme especificada na Norma ASTM 876-91 é totalmente coerente à análise realizada pela pesquisa, visto que todas as residências consultadas estão com um alto nível de degradação do material que compõe a sua estrutura, uma delas apresentando armações que estão quebradas, diminuindo a vida útil da edificação, aumentando o risco da construção desabar.

5. CONCLUSÕES

De fato, as manifestações patológicas causam muita dor de cabeça aos profissionais da área da construção civil e se não tratadas corretamente, podem trazer problemas sérios e irreversíveis para a obra. Devido a isso, é importante ter o conhecimento e estar ciente da importância das medidas preventivas e do comportamento dos materiais utilizados em contato com os agentes externos no meio em que serão inseridos.

Descarta-se a ideia que estudiosos tinham anos atrás, de que o concreto é um material ileso aos efeitos da erosão causada por forças atuantes através dos componentes naturais – como a corrosão por meio da maresia - uma vez que análises realizadas e casos como os relatados na presente pesquisa comprovam que a degradação pode ocorrer tão violentamente de forma a afetar o concreto – corrosão química - como também a sua armação - corrosão eletroquímica - trazendo inúmeros riscos para o projeto, já que a durabilidade que o elemento tem como finalidade é afetada.

Atualmente, através de ensaios, é possível ter a ciência do estado do interior da estrutura e sua probabilidade de corrosão. Devido a isso, o processo de diagnóstico abordado no trabalho adotou como base o processo

descrito pela Norma ASTM 876-91, onde de acordo com a diferença de potencial elétrico da armadura, pode-se chegar à probabilidade corrosiva, pela medida apresentada pelo multímetro e por método comparativo com os valores tabelados pelo regimento seguido.

As residências selecionadas e estudadas apresentam um alto índice de corrosão, onde pontos da sua estrutura estão degradados e colocam em risco toda a sua composição, uma vez que ao longo do tempo as reações químicas e eletroquímicas se avançam e aceleram os efeitos destrutivos causados pela patologia estudada. Logo, percebe-se o desinteresse e a falta de cuidado com o imóvel e seus componentes, visto que suas condições são precárias e o propósito do projeto abalado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM Internacional. ASTM 876-91: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, West Conshohocken, PA, 1999.
- CABRAL, A. E. B. Avaliação da eficiência de sistema de reparo no combate à iniciação e à propagação da corrosão do aço induzida por cloretos. Porto Alegre-RS, 2000. 187p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FORTES, L. R. Corrosão na armadura do concreto armado e sua avaliação pela técnica do potencial de eletrodo. Fortaleza-CE, 1995. 244p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará.
- FRANÇA, Alessandra A. V. et al. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. TÊCchne, São Paulo, v. 174, p. 0-98, set. 2011. Artigos.
- GENTIL, Vicente. Corrosão e anticorrosivos. 6 ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011. 360 p.
- SOARES, Arthur P. F. et al. Corrosão em armaduras de concreto. Cadernos de graduação, Maceió, v.3, p.177-188, nov. 2015. Artigos.