

DETERIORAÇÃO DAS ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO PROVOCADO PELOS ÍONS CLORETOS EM ATMOSFERA MARINHA¹

Ricardo Luiz Perez Teixeira²
Leonardo Lúcio de Araújo Gouveia³
Carla Regina Ferreira⁴
Sheron Stephany Tavares⁴

Resumo

O concreto armado é um dos materiais de construção mais empregados atualmente. Ao longo dos anos percebeu-se um equívoco feito em relação à durabilidade e a resistência desse material composto concreto/aço. Sabe-se que as armaduras de aço do concreto sofrem influências diretas dos íons cloretos, por esta razão, foi realizada uma pesquisa sobre a corrosão sofrida por essas armaduras. Neste trabalho foi realizado o ensaio eletroquímico acelerado de corrosão CAIM na armadura metálica do concreto em solução salina de 0,35 molar aplicando 16,5 Volts continuamente na armação do concreto por um período de 40 horas. Pelo ensaio CAIM, avaliou-se o comportamento de corrosão das armaduras e de deterioração do concreto como um todo. Após realização dos ensaios, as barras de aço foram limpas e secadas de acordo com normas e avaliadas. Pelos resultados, as amostras de concreto apresentam elevada taxa de corrosão com comprometimento estrutural da armadura metálica.

Palavras-chave: Ensaio CAIM; Concreto; Corrosão; Armadura metálica.

DETERIORATING CONCRETE REINFORCING CAUSED BY CHLORIDE IONS IN ATMOSPHERE BY NAVY

Abstract

The reinforced concrete is one of the most used building materials today. Over the years it was noticed a mistake made regarding durability and strength of the composite concrete / steel. It is known that the steel reinforcement of the concrete suffer direct influences of chloride ions, for this reason, a survey was conducted on the corrosion suffered by these armors. This work was accelerated testing electrochemical corrosion in metallic armor CAIM second concrete saline 0.35 molar continuously applying 16.5 volts to the frame of concrete for a period of 40 hours. CAIM for the assay, we evaluated the behavior of reinforcement corrosion and deterioration of the concrete as a whole. After conducting the test, steel bars were cleaned and dried according to standard. From the results, the concrete samples show high corrosion rates with compromised structural metallic armor.

Key words: CAIM test; Concrete; Corrosion; Metal armor.

¹ Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Professor Engenheiro Químico. Dr., em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

³ Graduado em Geografia, Msc. em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

⁴ Graduando em Engenharia Metalúrgica, UEMG, João Monlevade, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Pensava-se que um concreto com uma razoável resistência seria um concreto durável e que a estrutura e as condições criadas pelo concreto seriam suficientes para proteger fisicamente e quimicamente as armaduras metálicas de seu interior frente à corrosão. Hoje já se sabe que, para muitas condições de exposição, tanto a resistência quanto à durabilidade do concreto armado são questionáveis.

A principal causa de problemas em estruturas de concreto armado correntes é proveniente de corrosão da armadura, com consequências que vão desde estéticas, afloramento de produtos de corrosão, a até de estabilidade, diminuição da resistência mecânica.

Os altos custos globais, que envolvem tanto a perda do material deteriorado quanto a correção do problema, o comprometimento da estabilidade estrutural inerente ao desenvolvimento do processo corrosivo e, por fim, a elevada incidência e reincidência do fenômeno são alguns dos aspectos que fazem da corrosão de armaduras certamente a principal manifestação patológica em estruturas de concreto desde o início do século passado.

1.1 Objetivos

Esse trabalho objetiva simular o comportamento do concreto armado frente ao ambiente marinho que é fortemente agressivo, avaliando a taxa de corrosão decorrente a esta atmosfera.

1.2 Revisão da Literatura

1.2.1 Concreto armado

O concreto armado é um dos materiais mais utilizados na construção civil. Diferencia-se do concreto devido ao fato de receber uma armadura metálica responsável por resistir aos esforços de tração, enquanto que o concreto em si resiste aos esforços de compressão. Na Figura 1, pode-se observar esquema representativo de estruturas em concreto armado. A ligação entre o concreto e a armadura de aço é promovida pela aderência do cimento e por efeitos de natureza mecânica.

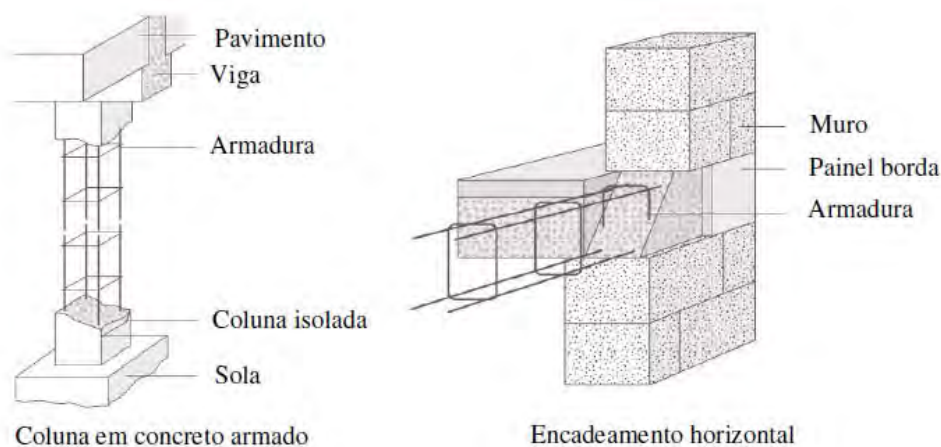


Figura 1. Estrutura de Concreto Armado.⁽¹⁾

O conjunto concreto/armadura apresenta grande durabilidade. O concreto forma uma camada de proteção física e química em volta das peças de armadura, impedindo a oxidação da armadura. No entanto, ao longo do tempo, o concreto sofre desgastes provocados pelo meio em que se apresenta desprotegendo assim a armadura e gerando a perda de resistência e diminuindo sua vida útil.

1.2.2 Principais agentes corrosivos no concreto

O desenvolvimento do processo eletroquímico da corrosão do aço no concreto envolve uma série de fatores. Como visto, na ausência de agentes externos, o concreto age como uma cobertura alcalina de proteção para o aço, que se encontra revestido com uma película passiva intacta. Entretanto, quando ocorre a interferência de agentes externos, a estabilidade eletroquímica que antes existia fica comprometida, apresentando com o tempo sinais de deterioração da armadura.

Em relação aos agentes agressivos indutores da corrosão do aço no concreto, os mais importantes e conhecidos são os íons cloretos e a carbonatação.

A corrosão no concreto armado pode ocorrer por diversos fatores, sendo eles: físicos, mecânicos, biológicos e químicos. Como fatores mecânicos, podem-se mencionar as vibrações, que causam fissuras no concreto facilitando o contato da armadura com o meio corrosivo. Com variações na temperatura pode ocorrer o choque térmico que afeta a integridade da estrutura, e são classificadas como fatores físicos. Os fatores biológicos, como micro-organismos criam meios altamente corrosivos, por exemplo, as bactérias oxidantes que aceleram a oxidação. Os fatores químicos se dão pelos diferentes ambientes, e apresentam diversas substâncias químicas, sendo essas corrosivas, como o ácido sulfúrico e o ácido clorídrico.

Os tipos de meios com relação à corrosão são os meios de atmosfera rural, urbano, marinha e industrial.

Atmosfera Rural: são regiões distantes de fontes poluidoras do ar, com baixa agressão as armaduras no concreto. Por falta dessas fontes poluidoras, a velocidade da carbonatação fica lenta.

Atmosfera Urbana: regiões em centros populacionais contendo impurezas em forma de óxidos de enxofre e outros agentes agressivos. O aspecto nesse tipo de atmosfera é a combinação de ar seco e vapor da água, sendo este importante, pois afeta a velocidade da corrosão atmosférica.

Atmosfera Marinha: são regiões abertas sobre o mar ou perto da costa, contendo em sua atmosfera cloretos de sódio e de magnésio podendo ter sulfatos, esses elementos são agressivos e podem aumentar a velocidade do processo de corrosão das armaduras.

Atmosfera Industrial: são regiões abertas com gases e cinzas agressivos. Contendo gases ácidos que podem reduzir a basicidade do concreto aumentando a velocidade de carbonatação, destruindo a proteção do aço.

1.2.3 Corrosão acelerada por imersão modificadora (CAIM)

CAIM é um ensaio acelerado de corrosão, e faz parte dos ensaios eletroquímicos existentes, foi desenvolvido por Lima,⁽²⁾ no LEME/UFRGS, a partir de um ensaio semelhante realizado por Varela e Espinosa.⁽³⁾ O ensaio sofreu diversas mudanças por diferentes pesquisadores, como Seliestre e Both,⁽⁴⁾ Seliestre, Gastal e Campagnolo,⁽⁵⁾ Marchesan et al.⁽⁶⁾ e Kirchhein et al.⁽⁷⁾

O CAIM tem por objetivo avaliar o efeito da corrosão sobre o material, por meio de uma medida da perda de massa após o ensaio. Permite também observar o

progresso da corrente de corrosão, crucial para mensurar a dinâmica do processo corrosivo.

Todavia, é um ensaio que exige muita atenção do investigador, visto que o mesmo tem que avaliar a evolução da corrente e registrar as mudanças visuais nos corpos de prova durante as passagens inicial e final das armaduras. É importante, além disso, empregar procedimentos para garantir um exato posicionamento das barras nos corpos de prova e uma adequada cura do cimento. Faz-se necessário, que o investigador tenha sensibilidade suficiente para concluir o ensaio caso os corpos de prova estiverem em estado de ruína muito avançado.

Por estes motivos, julga-se que esta é uma técnica importante e com elevada potencialidade para a investigação da degradação provocada pela corrosão de estruturas em concreto armado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração deste trabalho utilizou-se do ensaio CAIM que consiste em imergir parcialmente o corpo de prova de concreto armado, contendo barras de aço CA- 60 de 6 mm de diâmetro e 17 cm de comprimento, em uma solução salina contendo 35 g de NaCl/l de água. A diferença de potencial ocorre com a conexão das barras de aço, de cada corpo de prova, à fonte de voltagem constante. Gerando um polo positivo na armadura, promovendo a migração dos íons cloreto da solução para a zona em torno do metal, onde acontecem as reações de oxidação acelerada do aço pela perda de elétrons. No estudo realizado foi mostrado que a utilização de uma fonte contínua de 16,5 V, por um período de 40 horas, é expressiva para avaliar a perda de massa e de espessura nas barras metálicas.



Figura 2. (a) Amostra submetida a voltagem e (b) Amostra após 24 horas de ensaio.

Posteriormente às 40 horas de ensaio, o corpo de prova ficou 20 dias para completa cura do material, passados esse tempo o bloco foi pesado e em seguida quebrado para ser realizada a análise das barras metálicas em seu interior.



(a)



(b)

Figura 3. (a) Pesagem da amostra após ensaio CAIM e (b) Amostra em processo de quebra.



Figura 4. Parte da armadura onde houve maior intensidade de corrosão.

A limpeza foi realizada numa solução de ácido sulfúrico 23% e posterior lixamento da barra para averiguar o quanto se perdeu em espessura do material, de acordo com a norma ASTM.⁽⁸⁾

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente os blocos de concreto armado pesavam 3,56 kg, após passarem pelo ensaio CAIM a massa caiu para 3,50 kg. Pode-se afirmar que até mesmo na massa de concreto houve uma corrosão considerável, o que é comprovado pela perda de massa.

Conforme ilustrado em destaque na Figura 5, em uma das barras de aço a corrosão foi tão intensa que ocorreu o derretimento do material, esse fato foi devido ao maior contato com o meio salino que este material obteve.



Figura 5. Amostra após 40 horas de ensaio.

Foi utilizado o aço GG 60 como ilustrado acima, com 6 mm de diâmetro e 170 mm de comprimento, após decapagem e lixamento constatou-se uma diminuição de 1,22 mm devido a corrosão sofrida, então através de fórmulas para cálculo de taxa de corrosão foi possível chegar aos resultados. Primeiramente foi utilizada a fórmula para cálculo de perda de massa ao longo do tempo, como segue abaixo.

$$mmpy = 13,56 \Delta_m / Stp$$

$$267,14 = 13,56 \Delta_m / 3,972 \times 4,567 \times 10^{-3} \times 7,86$$

$$\Delta_m = 24,61 \times 10^3 \text{ mg}$$

Onde:

- mmpy = perda de espessura, em mm/ano;
- Δ_m = perda de massa, em mg;
- S = área exposta em polegadas;
- t = tempo de exposição, em horas; e
- ρ = massa específica do material, em g/cm³.

Após encontrar a massa perdida ao longo do tempo foi possível calcular a taxa de corrosão uniforme que quantifica a perda em espessura, como segue abaixo.

$$T = \Delta_m 365 / A \rho t$$

$$T = 24,61 \times 10^3 \times 365 / 2,56 \times 10^3 \times 1,67 \times 7,86$$

$$T = 267,3 \text{ mm/ano.}$$

Onde:

- Taxa corrosão uniforme;
- Δ_m : perda de massa, em mg;
- A: área exposta em mm²;
- t: tempo de exposição, em dias;
- ρ : massa específica do material, em g/cm³;
- K: constante (87,6).

Com o resultado obtido pode-se classificar o nível de agressividade da corrosão sofrida pela barra de acordo com norma NACE (Tabela 1), classificando a corrosividade como severa.

Tabela 1. A Norma NACE – RP0775 estabelece a classificação da corrosividade⁽⁹⁾

Corrosão Uniforme (mm/ano)	Corrosividade
< 0,025	Baixa
0,025 a 0,12	Moderada
0,13 a 0,25	Alta
>0,25	Severa

4 CONCLUSÃO

O ensaio CAIM proporcionou segundo a norma NACE RP 0775⁽⁹⁾ a alta corrosão e o comprometimento estrutural do concreto armado norma ABNT NBR 6118.⁽¹⁰⁾ Esse fato traz a tona a necessidade de se fabricar aços mais resistentes a corrosão pela adição de elementos de ligas e a criação de novas formas de revestimentos protetores e elementos inibidores. As novas armaduras de aço devem ser testadas pelo ensaio CAIM e avaliadas comparativamente para a escolha de menor severidade do ataque corrosivo pela norma NACE RP 0775.⁽⁹⁾

Agradecimentos

Agradecemos aos professores e orientadores Leonardo Lúcio de Araújo Gouveia e Ricardo Luiz Perez Teixeira, pela disponibilidade e orientação durante o desenvolvimento deste projeto.

Às alunas voluntárias no projeto Larissa Medeiros e Nathaly Priscila Ferreira.

À Fapemig pelo financiamento a pesquisa,

À UEMG.

REFERÊNCIAS

- 1 HELENE, P.R.L. Corrosão em armaduras para concreto armado. São Paulo: Pini, 1986
- 2 LIMA, M. G. Influencia Dos Componentes Do Concreto Na Corrosão De Armaduras. Porto Alegre, 1990. 133 P. Dissertação (Mestrado Em Engenharia) – Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.
- 3 VARELA, H.; Espinoza, L. V. Penetrabilidad De Iones Cloruors En Morteros Con Y Sin Revestimiento. In: VII Jornadas Chilenas Del Hormigón E I Jornada Lationamericana Del Cimento Y Hormigón, Curso: Avances Tecnicos En El Uso De Cementos Y Hormigones, 1988, Santiago De Chile. Anais... Santiago De Chile: Instituto Profesional De Santiago, 1988. P. 82-91.
- 4 SELISTRE, F.P.; Both, A.A. A Influencia Do Fator A/C, Do Cobrimento E Do Tempo De Cura Na Corrosão De Armaduras. In: V Salão De Iniciação Cinetífica E Ii Feira De Iniciação Cinetífica, 1993, Porto Alegre. . Anais... Porto Alegre: Leme/Ufrgs.
- 5 SELISTRE, F.P.; Gastal, S.L.; Campagnolo, J.L. Estudo De Técnicas Para Reversão Do Processo Corrosivo Em Estruturas De Concreto Contaminadas Com Cloretos. In: Vi Salão De Iniciação Cinetífica E Iii Feira De Iniciação Cinetífica, 1994, Porto Alegre. . Anais... Porto Alegre: Leme/ Ufrgs.
- 6 MARCHESAN, P. R. C.; Santarosa, D.; Campagnolo, J. L.; Filho, L. C. P. S.; Pacheco, A. R. Estudo Da Influência Da Aplicação De Revestimentos No Controle Da Corrosão. In: Iv Congresso Iberoamericano De Patologia Das Construções E Vi Congresso De Controle De Qualidade, 1997, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Leme/Cpgec/Ufrgs.

- 7 KIRCHHEIM, A. P.; Pasa, V.; Dal Molin, D. C. C.; Silva Filho, L. C. P. Avaliação De Revestimentos De Proteção Do Aço No Controle Da Corrosão Das Armaduras Em Concretos Brancos. Vii Congresso Latinoamericano De Patologia De La Construcción, X Congreso De Control De Calidad En La Construcción, 2005, Asunción, Paraguai. Anais... Conpat 2005.
- 8 ASTM - American Society For Testing And Materials. Annual book of ASTM Standards. Standard practice for cleaning, descaling and passivation of stainless steel parts, equipment and systems. (Revision) ASTM A 380, Philadelphia, 1996.
- 9 NACE RP 0775 – “Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operation” – NACE International: Standard Recommended Practice, 2005.
- 10 NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. ABNT, Rio de Janeiro, 2007.