



Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Campus Universitário de Cruz das Almas
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Graduação em Engenharia Civil

**ESTUDO DO CENÁRIO ECONÔMICO DA CORROSÃO DE ARMADURAS EM
OBRAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Aprovado em: 11/12/2020

Prof. Me. Cleidson Carneiro Guimarães
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Membro interno - Orientador

Prof. Dr. Renê Medeiros de Souza
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Membro interno - Banca examinadora

Prof. Me. Sérgio Santos de Jesus
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Membro interno - Banca examinadora

Elaine Barbosa Menezes
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB
Graduanda em Engenharia Civil

ESTUDO DO CENÁRIO ECONÔMICO DA CORROSÃO DE ARMADURAS EM OBRAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Elaine Barbosa Menezes

<<https://orcid.org/0000-0001-5972-7683>>

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / Cruz das Almas [BA] Brasil

Cleidson Carneiro Guimarães

<<https://orcid.org/0000-0002-9608-5947>>

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / Cruz das Almas [BA] Brasil

RESUMO

A corrosão de armaduras é um dos problemas mais encontrados em estruturas de concreto armado. Ter o conhecimento desse fenômeno é muito relevante, pois causa diversos danos à estrutura e envolve elevados custos em suas restaurações. Este estudo tem como objetivo fazer uma busca, baseada em bibliografias, do cenário econômico envolvendo as consequências pelo desencadeamento dessa manifestação patológica em obras civis. Por meio da pesquisa desenvolvida foi possível identificar que os íons cloretos e a carbonatação são os principais causadores desse problema e que por meio da manutenção preventiva é possível reduzir os custos causados pelos processos corrosivos. Além disso, é um fenômeno que impacta a economia mundialmente e em se tratando do Brasil, é na região litorânea que se concentra a maior incidência dos casos.

PALAVRAS-CHAVES

Corrosão em armaduras. Custos com corrosão de armaduras. Obras da Construção Civil.

STUDY OF THE ECONOMIC SCENARIO OF CORROSION OF ARMATURES IN CIVIL CONSTRUCTION WORKS

ABSTRACT

Reinforcement corrosion is one of the most common problems in reinforced concrete structures. Having knowledge of this phenomenon is very relevant, as it causes several damages to the structure and involves high costs in its restorations. This study aims to make a search, based on bibliographies, of the economic scenario involving the consequences for the triggering of this pathological manifestation in civil works. Through the developed research it was possible to identify that chloride ions and carbonation are the main causes of this problem and that through preventive maintenance it is possible to reduce the costs caused by corrosive processes. In addition, it is a phenomenon that impacts the economy worldwide and in the case of Brazil, it is in the coastal region that the highest incidence of cases is concentrated.

KEYWORDS

Corrosion in armatures. Reinforcement corrosion cost. Civil construction works.

1. Introdução

Muito utilizado como elemento estrutural, o concreto armado, apresenta características peculiares que facilitam a execução, a aplicação e o menor custo comparado com outras opções existentes no mercado de trabalho, como por exemplo, a estrutura metálica. Entretanto, a incidência de manifestações patológicas nesse tipo de estrutura tornou-se recorrente nos últimos anos, sobretudo problemas relacionados a corrosão de armadura (Schmoeller e Lima, 2019).

O concreto representa uma proteção dupla para a armadura, tanto no aspecto físico, por impedir o contato direto com o meio externo, como no aspecto químico, em razão da sua forte alcalinidade ($\text{pH} > 12,5$) que proporciona a formação de uma camada passivadora ao redor do aço (Meira, 2017). Desta maneira, conforme Santos (2015), para que a corrosão seja iniciada é necessário que ocorra a destruição dessa camada, fenômeno conhecido por despassivação da armadura. Esse problema se manifesta em manchas superficiais, fissuras, destacamento do revestimento de concreto do aço e perda de massa das armaduras, resultando em redução na seção de seus componentes (Soares et al., 2015).

Estima-se que 90% dos problemas patológicos em estruturas de concreto no mundo têm como consequência a corrosão de armadura (Trevisol, 2017). De acordo com Araújo et al. (2017) e Silva et al. (2019) os fatores que mais desencadeiam a contaminação do concreto e ocasionam a quebra da camada passiva são a presença de íons de cloreto e a carbonatação do concreto.

Segundo Hou et al. (2017), a corrosão demanda custos nos diversos setores da indústria. Dessa forma, quantificar o tamanho dos custos por esta manifestação patológica configura-se como um passo importante para aumentar a conscientização sobre a gravidade e magnitude dos problemas. Essa construção de consciência pode conduzir na perspectiva de mudança de cultura, saindo da manutenção corretiva para a preventiva.

Os estudos relacionados sobre custos envolvendo as manifestações patológicas foram intensificados desde a década de 80 por Sitter, no qual foi desenvolvido um gráfico que relaciona os custos relativos das intervenções nas edificações com o período de cada etapa da obra. Assim, esse estudo (*apud* Silva 2018) comprovou que os custos de intervenção na estrutura, para atingir um certo nível de durabilidade e proteção, crescem exponencialmente quanto mais tarde for essa intervenção e que a evolução desse custo pode ser assimilada ao de uma progressão geométrica de razão 5, conhecida por “Lei dos 5”.

Salomão et al. (2019) descreve que nos últimos anos foram intensificados os estudos contendo levantamentos estatísticos apontando o alto custo das manutenções em estruturas que apresentam corrosão. Recentemente a entidade International Zinc Association (IZA) com apoio da USP-SP, demonstraram que a corrosão é responsável por cerca de 4.0% do Produto Interno Bruto (PIB) anual com custos de recuperação no Brasil (Schmoeller e Lima, 2019) em 2017, correspondendo a cerca de R\$ 264 bilhões. Além disso, o custo global da corrosão é estimado em US \$ 2.5 trilhões, o que equivale a 3.4% do PIB global (Koch, 2017).

A falta de um diagnóstico precoce interfere consideravelmente na economia de recursos, uma vez que as manifestações patológicas, que poderiam necessitar de um baixo custo para serem

recuperadas, podem evoluir para situações de custo mais elevado. Para Luz (2019) através do monitoramento dos processos degradativos à estrutura de concreto armado é possível reduzir os gastos. Dessa forma, o diagnóstico precoce da corrosão é uma ferramenta muito poderosa para entender quais causas e mecanismos estão levando a estrutura a se degradar.

Diante do que foi mencionado anteriormente, o presente trabalho tem o propósito de realizar uma retomada dos conhecimentos atuais desenvolvidos acerca do acometimento da corrosão em estruturas que utilizam o ferro como componente de ligas metálicas, bem como descrever o cenário econômico brasileiro e mundial quanto aos valores destinados em recuperações na construção civil.

2. Metodologia

O procedimento escolhido para a realização do estudo foi o método de revisão bibliográfica e foram necessárias seis etapas, as quais são demonstradas na Figura 01.

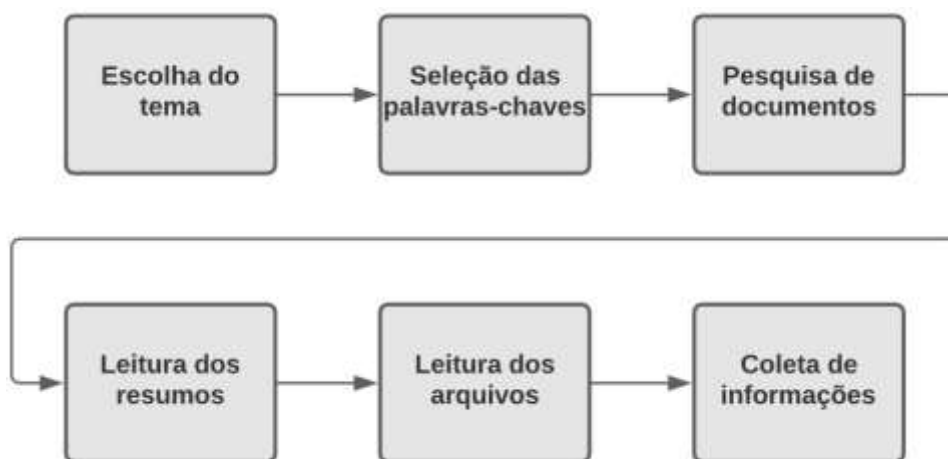


Figura 1. Esquema das etapas executadas no desenvolvimento do trabalho. Fonte: A autora (2020).

3. Resultados e discussões

3.1. Principais agentes corrosivos em estruturas de Engenharia

3.1.1 Processo corrosivo por íons de cloreto

A despassivação por íons de cloreto ocorre de maneira pontual, levando ao surgimento de uma corrosão localizada. Para Soares et al. (2015), a contaminação é iniciada por meio da penetração desses agentes nos poros do concreto, em conjunto com a água e o oxigênio, até alcançar a armadura e começar a despassivação acelerada da mesma. Esse processo não deve ser negligenciado, uma vez que, pode levar a elevada perda da área da seção transversal em regiões ao longo da armadura (Liberati, 2014).

Segundo Barros (2018), os íons de cloreto atingem o interior da massa do concreto em duas situações, sendo a primeira no ato do amassamento, uma vez que os aditivos utilizados podem ter esses agentes em sua composição, ou por fazer uso de águas ou agregados contaminados; a segunda forma é através do contato dos íons presentes no ambiente que a construção se encontra inserida, como por exemplo, as regiões marinhas e industriais.

3.1.2. Processo corrosivo por ataque de carbonatação

Este processo é um fenômeno que acontece de forma natural, e é considerada uma anomalia que associada ao ataque por cloretos, faz com que haja uma redução da durabilidade da estrutura, sendo um fator preponderante no desencadeamento da corrosão das armaduras (Mazza, 2015). O principal efeito da carbonatação para Silva (2018), é a redução do pH da pasta de cimento do concreto, de valores entre 12 e 14 para valores inferiores a 9. Caso essa redução da alcalinidade atinja a armadura, pode levar a despassivação, deixando o aço desprotegido e susceptível a corrosão (Oliveira, 2019).

3.2. Custos relacionados à corrosão de armaduras

Em se tratando de obras da Construção Civil, nota-se que quanto antes for identificada a corrosão em armadura, menor será o valor monetário envolvido em sua restauração. Gonçalves (2015) discorre que o custo da recuperação da estrutura posterior ao término da construção é muito maior se comparado à alguma intervenção a nível de projeto ou execução inicial. Os serviços de reparos desembolsados chegam a ser da ordem de bilhões, resultando em um impacto econômico, que segundo esse mesmo autor, representa certa de 50% dos valores investidos na realização de outras construções.

Os valores gastos com esta manifestação patológica podem ser classificados como diretos ou indiretos. Sendo assim, os custos associados às perdas de materiais, produtos e equipamentos ocasionados pela corrosão são considerados custos diretos Luz (2019). Em contrapartida, os custos indiretos são relacionados à prevenção dos danos causados pela corrosão às pessoas, meio ambiente e instalações.

Por ser um problema que acomete danos mundialmente, na Figura 2, é possível notar os índices de ocorrência e os custos gerados pela corrosão de armadura.

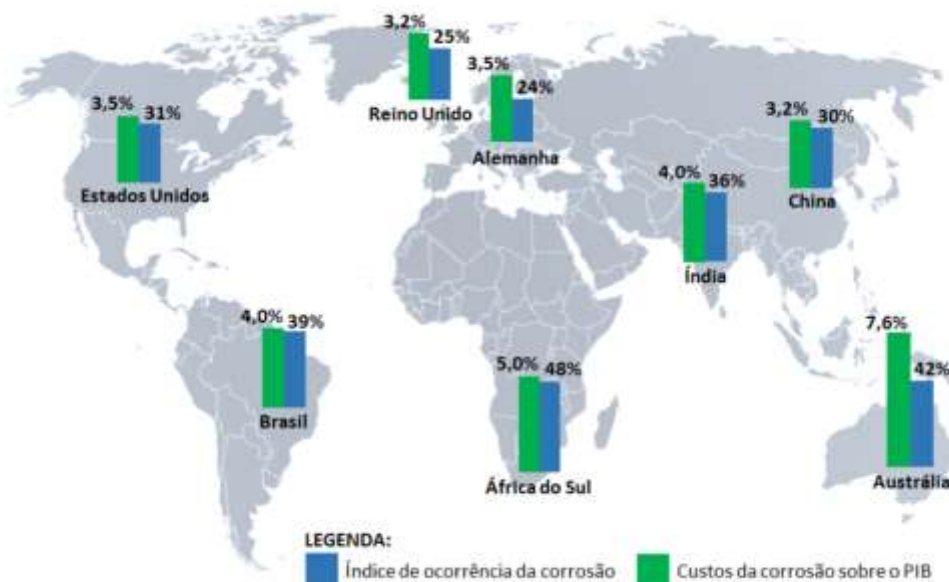


Figura 2. Mapa de incidência e de custos advindos de alguns países. Fonte: World Corrosion Organization, *apud* Felix (2018).

Ao observar os dados presentes na figura acima, pode-se perceber que a África do Sul corresponde ao país com maior porcentagem de ocorrência da corrosão e que a Austrália, detém

o maior valor gasto do PIB. Em contrapartida, de acordo com as informações encontradas, os países que possuem uma menor incidência desta manifestação patológica são a China e o Reino Unido, porém é a Alemanha que apresenta um menor custo do PIB.

3.3. Cenário atual da corrosão de armaduras

A degradação de estruturas de concreto devido ao problema da corrosão é algo que afeta a construção civil em todo o mundo, com repercussões em função do volume de casos registrados, da precocidade com que ocorrem, bem como do montante de recursos envolvidos (Meira, 2017). Sem contar que os poucos valores estimados são apenas relacionados aos custos diretos, uma vez que os custos indiretos como a perda da produtividade, congestionamentos ou impacto ao meio ambiente, não são inseridos.

Essa manifestação patológica impacta a vida cotidiana, afeta a saúde e o bem-estar da nação e gera mais energia e despesas para combatê-la, pois em condições atmosféricas, a maioria dos metais e ligas são instáveis e sujeitos a esse problema. A corrosão afeta potencialmente equipamentos industriais, reduz a vida útil dos ativos de infraestrutura e a qualidade do meio ambiente (Fayomi et al., 2019). Dada a alta interferência dos problemas oriundos por esse fenômeno no meio econômico e tecnológico, torna-se uma necessidade obter atenuações dos seus efeitos, otimizando os produtos e processos atingidos pela sua ação.

3.3.2. Cenário de corrosão no Brasil

O Brasil possui 8.514.876 km² de terra e 7.491 km correspondem ao seu litoral, ocupando assim, o 16º país com maior extensão litorânea (P&Q Engenharia Jr., 2017). Se for levado em consideração que o valor estimado em reparos nas estruturas corrosivas chegou à casa dos R\$ 250 milhões, Góes (2017) afirma que uma boa parte desses gastos são provenientes das indústrias petrolíferas, que são mais propícias à ação da corrosão por conta do ambiente que estão inseridas, com elevada salinidade e umidade, fatores que contribuem para o desencadeamento da corrosão.

No cenário nacional, a problemática da deterioração de estruturas de concreto, devido à corrosão de armaduras, se estende por todo o território nacional, embora as zonas costeiras despertem maior preocupação (Meira, 2017). Como os municípios brasileiros localizados na faixa litorânea detém 95% do PIB, e cerca de 70% da população brasileira vivem em cidades de até 200 km da praia, todas as construções expostas deveriam ser mais eficientes em sua proteção, conforme informa Góes (2017).

Um estudo desenvolvido pela empresa norte-americana CCTechnologies (*apud* Grandes Construções, 2017), indicou que esse problema no Brasil poderia ser minimizado com tecnologias já existentes para proteção de estruturas metálicas, como por exemplo, o uso de vergalhões galvanizados por imersão quente em pontes ou viadutos, levando a um aumento da vida útil dessas obras em 110 anos. Além disso, o relatório apresenta uma proporção de ganho *versus* custo da utilização dessa tecnologia que atenuaria o impacto na economia em cerca de 25%, cerca de R\$ 48 bilhões. O custo de manutenção seria muito menor e mais econômico, mesmo com um acréscimo de 3% no custo inicial do projeto (Fator Brasil, 2016).

4. Conclusão

A partir do estudo da literatura técnica sobre o cenário da corrosão de armadura em obras civis, foi possível identificar que os principais causadores são os íons cloretos e a carbonatação, sendo que o primeiro despassiva o aço de maneira pontual e o segundo ocorre de maneira natural,

diminuindo o pH do concreto, propiciando a diminuição da durabilidade e contribuindo para o surgimento dessa manifestação patológica.

Constata-se também que a cada dia, o estudo voltado para esse problema torna-se relevante devido à grande quantidade de estruturas atingidas, bem como o elevado custo para as suas restaurações. Dessa forma, o monitoramento da corrosão é uma ferramenta muito poderosa para compreender quais são os fatores que contribuem para a degradação, como também ajuda na redução dos custos aplicados, pois com a realização do diagnóstico precoce é possível realizar a manutenção preventiva, ou seja, medidas de reparo menos onerosas e métodos de execução mais simples.

Dada a exposição do cenário mundialmente, nota-se que o processo corrosivo afeta as estruturas e conseqüentemente, impacta a vida, a saúde e o bem estar da população. Além disso, no Brasil essa manifestação patológica acomete todo o território nacional, porém é na região litorânea que detém uma maior preocupação por conta da umidade e salinidade presente.

Por fim, verifica-se a dificuldade na obtenção dos dados monetários gastos com a reparação da corrosão de armaduras, bem como a falta de investimento nessa área para que seja cada vez menor o seu surgimento, gerando um ganho econômico para os países e para a população, com construções mais duráveis e seguras.

5. Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a **Deus** por mais essa etapa concluída em minha vida. Agradeço também aos meus pais, **Elza** e **Dinho**, por todo apoio, incentivo, amor e cuidado. Agradeço também aos meus irmãos, **Elias** e **Marquinhos**, pela compreensão, paciência e carinho. Agradeço a **Bia** por toda amizade que construímos ao longo da graduação, por todo companheirismo desde o início, por todo amor, risadas e confidências. Por fim, agradeço aos meus amigos **July**, **Bianca**, **Bruna**, **Gabi**, **Gustavo**, **Jeff**, **Mateus**, **Yan**, **Alfredo** e **Ramon**, pelos momentos de descontração, pela troca de experiência, pelas idas à orlinha, pelo carinho, cuidado, paciência e cumplicidade. Agradeço em especial, ao meu orientador Prof. **Cleidson**, pela confiança em mim depositada, me auxiliando mesmo diante de uma pandemia para o desenvolvimento deste trabalho.

6. Referências Bibliográficas

Adamatti, D. S. (2016). *Análise da eficiência de espaçadores no concreto armado: Impacto da corrosão por íons cloreto em diferentes condições de exposição*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 130p.

Araújo, A., et al. (2017). Definição e preparação de corpos de prova de concreto armado destinados a ensaios acelerados de corrosão de armaduras. *Revista IPT: Tecnologia e Inovação*, v. 1, n. 3.

Barros, T. C. M. F. D. (2018). *Estudo experimental da influência da interface espaçador/concreto na corrosão de armaduras desencadeada por íons cloreto*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 130p.

Fator Brasil. (2016). *Brasil perde 4% do PIB com corrosão, diz estudo*. Disponível em: <https://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=334281> Acesso em: 10 nov. 2020

Fayomi, O., Akande, I., Odigie, S. (2019). Impacto Econômico da Corrosão em Setores de Petróleo e Prevenção: Uma Visão Geral. *In: Journal of Physics: Conference Series*. Publicação IOP, p. 022037.

Felix, E. F. (2018). *Modelagem da deformação do concreto armado devido à formação dos produtos de corrosão*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Carlos, 154p.

Góes, R. S. (2017). Como especificar a galvanização a fogo. *ICZ – Instituto de Metais Não Ferrosos*.

Gonçalves, E. A. B. (2015). *Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 174p.

Grandes Construções. (2017). *Brasil perde 4% do PIB com corrosão*. Disponível em: <<http://www.grandesconstrucoes.com.br/Materias/Exibir/brasil-perde-4-do-pib-com-corrosao>> Acesso em: 15 nov. 2020

Hou, B., Li, X., Ma, X., Du, C., Zhang, D., Zheng, M., ... e Ma, F. (2017). The cost of corrosion in China. *npj Degradação de Materiais*, v. 1, n. 1, p. 1-10.

Koch, G. (2017). Cost of corrosion. In: *Trends in oil and gas corrosion research and technologies*, p.3-30. doi: 10.1016 / b978-0-08-101105-8.00001-2

Liberati, E. A. P. (2014). *Modelo de confiabilidade aplicados à análise de estruturas de concreto armado submetidas à penetração de cloretos*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Carlos, 143p.

Luz, I. V. D. (2019). *Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Monitoração, Causas e Mecanismos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 134p.

Mazza, R. *Carbonatação acelerada de concretos com cinza de arroz sem moagem*. (2015). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 106p.

Meira, G. R. (2017). Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: Fundamentos, Diagnóstico e Prevenção. *João Pessoa: IFPB*.

P&Q Engenharia Jr. (2017). *A corrosão está mais perto do que você imagina*. Disponível em: <<https://peqengenhariajr.com.br/corrosao-esta-mais-perto-que-voce-imagina/>> Acesso em: 10 nov. 2020

Pires, T. M. S. (2018). *Proteção à corrosão de estruturas de aço*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de Lisboa, Lisboa, 107p.

Salomão, P. E. A., Suski, A., Pinheiro, W. F., e de Amorim Andrade, A. L. (2019). Estudo de proteção contra corrosão em armaduras de aço da construção civil. *Research, Society and Development*, v. 8, n. 1.

Santos, A. V. B. (2015). *Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação*. Monografia (Especialização em Engenharia Civil), Instituto de Pós-graduação - Ipog, Salvador, 21p.

Schmoeller, F., Lima, M.G. (2019). Microestrutura de armaduras em processo de corrosão natural: estudo de caso em barras de aço pertencentes à antigas fundações do ITA. *Revista Técnico-Científica*, n. 21.

Silva, A. G., Teixeira, B. G. M., e Ferreira, L. A. V. (2019). Estudo dos métodos de prevenção da corrosão de armaduras em edifícios. *INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797)*, v. 7, n. 1, p. 229-254.

Silva, E. D. C. D. (2018). *Patologia em estruturas de concreto armado: estudo de caso em edificações do Campus I da Universidade Federal da Paraíba*. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 60p.

Soares, A., Vasconcelos, L., Nascimento, F. (2015). Corrosão em armaduras de concreto. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS*, v. 3, n. 1, p. 177-188.

Trevisol, A., et al. (2017). Avaliação de inibidores de corrosão para estruturas de concreto armado. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 22, n. 4.