

## Efeitos da corrosão nas propriedades mecânicas das armaduras

### *Corrosion effects on reinforcement mechanical properties*

Cauê Benevenuto Rodrigues\*, Carlos Eduardo Tino Balestra†,  
Karen Imperator‡, Mariana Destri Costa§,

### RESUMO

O concreto armado é um dos principais sistemas construtivos utilizados na construção civil. A combinação das propriedades mecânicas do concreto junto ao aço, garante aos elementos de concreto armado um desempenho adequado relacionado aos esforços de compressão e tração. Todavia, o efeito do processo de corrosão sobre as armaduras de aço de elementos de concreto armado afeta a segurança das estruturas. Assim, este trabalho tem como principal objetivo analisar os efeitos da corrosão sobre as propriedades mecânicas das armaduras. A análise foi realizada por meio da comparação do grau de corrosão, tensão de escoamento e tensão última, entre os corpos de prova submetidos ao processo de corrosão acelerada pela passagem de corrente elétrica por 24, 48 e 72 horas e o grupo de controle. Os resultados obtidos evidenciaram o efeito da corrosão sobre as propriedades mecânicas do aço. O grau de corrosão apresentou substancial variação nos resultados, com perda de massa entre 0,68% e 7,78% para diferentes tempos. Já a tensão última dos grupos de amostra teve uma redução média entre 3,95% e 11,80% quando comparada ao grupo de controle. Por sua vez, a tensão de escoamento apresentou reduções de até 9,17%.

**Palavras-chave:** Corrosão, Concreto, Armadura, Resistência.

### ABSTRACT

Reinforced concrete is one of the main constructive systems used in civil construction. The combination of the mechanical properties of concrete together with steel guarantees to the reinforced concrete elements an adequate performance related to compression and tension. However, the effect of the corrosion process on the steel reinforcement of reinforced concrete elements affects the structures security. Thus, this work aims to analyze the effects of corrosion on the mechanical properties of reinforcement. The analysis was performed by comparing the corrosion degree, yield strength and ultimate strength, between the specimens submitted to the accelerated corrosion process by the passage of a electric corrente for 24, 48 and 72 hours and the control group. The results obtained showed the effect of corrosion on the mechanical properties of steel. The corrosion degree showed substantial variation in the results, with mass loss between 0.68% and 7.78% for different times. The ultimate strength of the sample groups had a mean reduction between 3.95% and 11.80% when compared to the control group. In turn, the yield strength presented reductions of up to 9.17%.

**Keywords:** Corrosion, Concrete, Reinforcement, Strength.

\* Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; [cauebrodrigues@gmail.com](mailto:cauebrodrigues@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Toledo; [carlosbalestra@utfpr.edu.br](mailto:carlosbalestra@utfpr.edu.br)

‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; [kimperator@gmail.com](mailto:kimperator@gmail.com)

§ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; [mari\\_destri@hotmail.com](mailto:mari_destri@hotmail.com)



## 1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é amplamente utilizado pela indústria da construção civil para fins estruturais, seja em grandes obras de infraestrutura, como pontes e barragens, ou pequenas obras residenciais. Devidos às características de resistência a compressão do concreto, aliada a elevada resistência a tração do aço, a combinação desses dois atores para um sistema construtivo faz do concreto armado uma solução bastante versátil, de fácil execução e de excelente custo benefício (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Entretanto, por depender da atuação conjunta entre o concreto e o aço para atender aos esforços solicitados, manifestações patológicas que comprometam o desempenho de um dos materiais, acaba afetando diretamente a segurança e estabilidade das estruturas. Neste ponto, o destaque é dado à corrosão das armaduras, visto que esta é uma das principais manifestações verificadas em estruturas de concreto armado (VIEIRA; *at al*, 2010).

Ao longo de anos, a indústria da construção civil tem desenvolvido rapidamente novos materiais e métodos que visam diminuir o desgaste, prolongando a vida útil das construções. Contudo, a corrosão das armaduras de aço em estruturas de concreto armado tem se mostrado um grande desafio, devido principalmente a dificuldade de constatação do problema e, com isso, remedia-lo (BALESTRA, 2013). Por se tratar de um processo evolutivo irreversível, a perda de seção progressiva do aço, aliada à expansão volumétrica dos produtos da corrosão podem levar a estrutura ao colapso.

Segundo Gentil (2011), a corrosão do aço em estruturas de concreto é um processo eletroquímico, de modo que as principais formas de corrosão podem ser caracterizadas como: corrosão uniforme, puntiforme, intergranular, transgranular e fragilização pelo hidrogênio. Neste caso, no âmbito da construção civil, a corrosão uniforme, em geral decorre da ação do CO<sub>2</sub> presente na atmosfera, e a corrosão puntiforme decorre da ação de íons cloretos em ambientes marinhos (MURAKAMI; *at al*, 2021).

Devido à camada de concreto que faz o revestimento da armadura, as barras de aço no interior da estrutura são, a princípio, protegidas da ação de agentes externos que podem dar início ao processo de corrosão. Tal proteção oferecida pelo concreto se dá por conta da alcalinidade do material, que apresenta pH em torno de 12, responsável por formar a camada passivadora. A camada passivadora é formada basicamente por óxidos de ferro aderidos as barras de aço. Tais óxidos tem sua origem na dissolução de hidróxidos presentes na pasta de cimento, que saturam nos poros do concreto. Entretanto, caso a proteção proporcionada pela camada de concreto falhe, na presença de água e oxigênio, os íons cloretos iniciam o processo de corrosão puntiforme, destruindo a camada passivadora (MURAKAMI; *at al*, 2021).

Diversas pesquisas atuais visam compreender os mecanismos da corrosão que comprometem a integridade do aço, entretanto poucos são os estudos que tem como objeto de análise as alterações das propriedades mecânicas do aço corroído. Assim, este trabalho teve como objetivo apresentar alguns resultados sobre os efeitos da corrosão nas propriedades mecânicas de barras de aço corroídas em laboratório contribuindo com mais dados para a compreensão dos fenômenos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para essa pesquisa foram utilizados os seguintes materiais: Cimento CP IV-32-RS; Agregado miúdo (Areia) com módulo de finura igual a 1,95, graduação contínua e massa específica igual a 2,68 g/cm<sup>3</sup>; Agregado graúdo (Brita) com dimensão máxima característica igual a 9,5 mm e massa específica igual a 2,80 g/cm<sup>3</sup>; Água; Barras de aço CA-50 com diâmetro de 8 mm; Solução de 3,5% de NaCl; Cabo condutor de cobre; Fita isolante.

Inicialmente, a barra de aço CA-50 com diâmetro de 8mm e comprimento de 12 metros foi segmentada em corpos de prova com 30 ± 1cm cm de comprimento cada. Os 24 corpos de prova metálicos, 6 por grupo, utilizados no estudo foram então pesados em uma balança, com precisão de 0,01g, e medidos com o auxílio

de um paquímetro. Na sequência da pesagem e medição, as barras foram identificadas com letras relacionadas ao tempo de corrosão as quais foram ensaiadas, conforme identificação apresentada na Tab. 1. Números de 1 a 6 foram utilizados para distinção das barras dentro dos grupos de corrosão.

**Tabela 1 – Identificação das amostras por tempo no processo de corrosão.**

Grupo	Identificação	Tempo no processo de aceleração de corrosão (h)
A	A1 – A6	24
B	B1 – B6	48
C	C1 – C6	72
D	D1 – D6	00 (grupo de controle)

**Fonte: Autoria própria (2021).**

Já identificadas, as barras de aço foram preparadas para o ensaio. Em uma das extremidades de cada barra foi fixado um cabo condutor de cobre e, posteriormente, isolou-se 10cm em ambas as extremidades das barras, com o objetivo de garantir o comprimento necessário sem corrosão para fixação no equipamento de tração quando os ensaios de tração fossem realizados.

Com o preparo concluído, as barras de aço foram colocadas no interior dos moldes, feitos a partir de tubos de PVC com diâmetro de 50mm e comprimento de 340mm, onde foram concretadas. O comprimento de 340mm foi utilizado de modo a garantir o cobrimento mínimo de 20mm nas extremidades das barras. O concreto utilizado foi feito em uma única betonada segundo o traço em massa 1:1,53:2,12 com relação água/cimento de 0,48. A resistência deste concreto foi determinada segundo a NBR 5739 aos 28 dias após cura saturada e atingiu um valor médio igual a 49,6 MPa.

Após 24h do momento da concretagem, as amostras foram desmoldadas e levadas para a cura submersa, de modo que a umidade relativa seja superior a 95% e temperatura 23+ 2°C, onde permaneceram por 28 dias. Após os 28 dias de cura, estes corpos de prova de concreto contendo as barras foram retirados da cura e levadas à estufa, onde secaram por 24h a uma temperatura de 60 °C com o objetivo de reduzir o grau de saturação dos poros do concreto.

Após a secagem, as amostras foram parcialmente imersas em solução de 3,5% de NaCl conforme Fig. 1 por 7 dias, mantendo o nível de solução constante até metade do corpo de prova para que os cloretos pudessem ingressar no concreto.

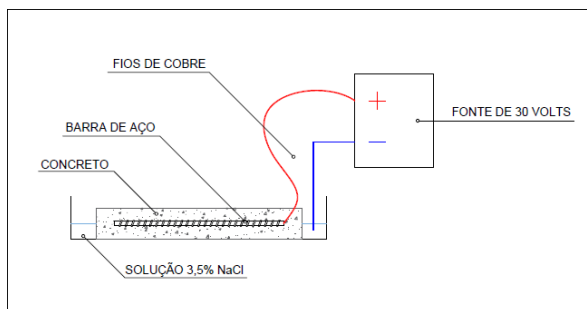
**Figura 1 – Corpos de imersos em solução de NaCl**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

Com a etapa de imersão finalizada, o processo de aceleração de corrosão das barras foi iniciado, de modo que as amostras foram ligadas a uma fonte, através dos cabos de cobre previamente fixos antes da concretagem, e foram submetidas a uma corrente de 0,4 Amperes e 30 Volts de tensão, conforme mostrado na Fig. 2. A corrosão acelerada foi realizada nos diferentes grupos A, B e C pelos diferentes períodos de tempo, já apresentados na Tab 1.

**Figura 2 – Esquema de sistema para corrosão acelerada**



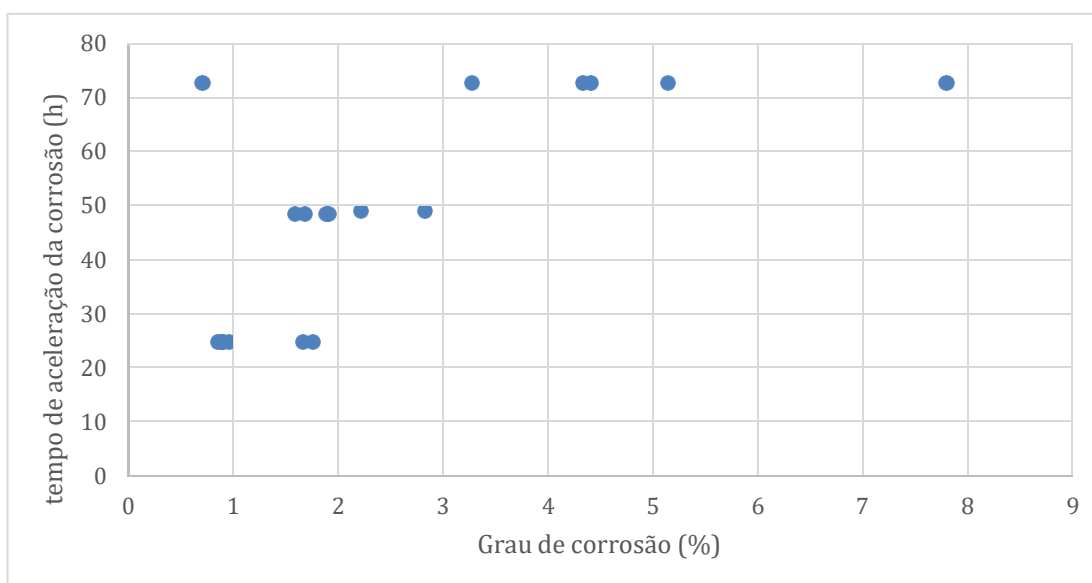
**Fonte: Autoria própria (2021).**

Finalizados os procedimentos de aceleração da corrosão, os corpos de prova contendo as barras corroídas foram submetidos a tração por compressão diametral com o objetivo de retirar as barras do interior do concreto. De posse das barras extraídas dos corpos de prova de concreto, estas foram limpas em solução de hexametilenotetramina e escovadas com escova de cerdas rígidas não metálicas em água corrente com o objetivo de remover os produtos de corrosão aderidos à superfície das barras. Desta maneira, as barras foram secas e tiveram a sua massa corroída determinada, permitindo assim a determinação do grau de corrosão, ou seja, variação percentual de massa das barras. Depois de serem novamente pesadas, as barras foram levadas para o equipamento de tração. O ensaio de tração foi conduzido com acréscimo de força igual a 1N/s, sendo registradas a tensão de escoamento e a tensão última das barras.

### 3 RESULTADOS

As barras de aço utilizadas neste estudo foram analisadas quanto ao grau de corrosão, tensão de escoamento e tensão última, por meio do ensaio de tração. A relação obtida entre o tempo de aceleração da corrosão e o grau de corrosão é apresentada na Fig. 3. Os resultados dos ensaios de resistência à tração são apresentados na Tab. 2 para os diferentes grupos ao passo que na Tab. 3 são apresentados os valores médios com desvio padrão.

**Figura 3 – Relação entre tempo de ensaio e grau de corrosão**



**Fonte: Autoria própria (2021).**



**Tabela 2 – Identificação das amostras por tempo no processo de corrosão.**

Identificação da barra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Grau de corrosão (%)	Tensão de escoamento (Mpa)	Tensão última (Mpa)
A1	234,1	230,24	1,65	172,23	618,01
A2	235,15	231,06	1,74	184,28	616,75
A3	229,88	227,89	0,87	206,9	627,24
A4	229,81	227,64	0,94	160,98	619,43
A5	234,95	232,86	0,89	189,18	626,74
A6	228,28	226,38	0,83	173,96	627,16
B1	233,15	228,75	1,89	174,77	612,63
B2	230,87	224,38	2,81	156,97	584,42
B3	234,01	229,55	1,91	147,15	600,54
B4	230,55	226,89	1,59	167,66	610,62
B5	231,45	226,37	2,19	155,64	587,95
B6	228,47	224,64	1,68	170,56	602,64
C1	233,2	225,61	3,25	153,73	577,28
C2	220,91	219,4	0,68	159,52	592,56
C3	221,99	212,4	4,32	159,52	593,32
C4	226,74	216,78	4,39	202,21	569,22
C5	228,05	210,3	7,78	161,45	559,48
C6	228,99	217,26	5,12	177,64	538,24
D1	230,98	230,98	0,00	183,25	651,93
D2	230,28	230,28	0,00	174,83	646,64
D3	230,99	230,99	0,00	178,53	643,36
D4	229,09	229,09	0,00	179,13	647,4
D5	232	232	0,00	165,49	648,49
D6	222,19	222,19	0,00	189,74	651,26

Fonte: Autoria própria (2021).

**Tabela 3 – Média dos resultados por grupo ± desvio padrão**

Identificação do grupo	grau de corrosão médio (%)	Tensão de escoamento média (Mpa)	Tensão última média (Mpa)
A	1,15 ± 0,38	181,26 ± 14,58	622,56 ± 4,56
B	2,01 ± 0,41	162,13 ± 9,61	599,80 ± 10,55
C	4,26 ± 2,12	169,01 ± 16,57	571,68 ± 19,19
D	0,00 ± 0,00	178,50 ± 7,44	648,18 ± 2,88

Fonte: Autoria própria (2021).

Ao observar a Fig. 3, é possível notar que à medida que o tempo de ensaio aumenta, em geral maior o grau de corrosão nas barras, contudo, nota-se com o passar do tempo de ensaio há maior dispersão nos valores, conforme constatado pelo desvio padrão observado entre os grupos A e C. Entretanto, há de se pontuar que, quanto maior o tempo de ensaio, maior o grau de corrosão. Nesta vertente, observa-se que de fato, à medida que o grau de corrosão se intensifica, em geral, menor a resistência ao escoamento e resistência última obtidos, evidenciando que, de fato, a corrosão afeta as propriedades mecânicas das barras.



Assim, observa-se na Tab. 2 que ao comparar a resistência ao escoamento dos corpos de prova A4 e C5, ou ainda C2 e C3, nota-se que os mesmos apresentam graus de corrosão amplamente diferentes, entretanto, valores de resistência muito próximos. Tal fato se justifica, uma vez que o grau de corrosão não é capaz de expressar os danos provocados pela corrosão à seção transversal das armaduras. Em outras palavras, os corpos de prova A4 e C2 podem apresentar pontos profundos de corrosão, porém com pouca variação de massa, justificando o comportamento observado. Desta maneira, é possível concluir que uma análise direta de correlação entre o grau de corrosão e a resistência não pode ser realizada, visto que a morfologia da corrosão afeta o comportamento mecânico das barras sob tração.

Na resistência última, observa-se que as mesmas considerações relacionadas a tensão de escoamento podem ser aplicadas à resistência última, comparando, por exemplo os corpos de prova C2 e C3. Todavia, de maneira geral, a disparidade entre o grau de corrosão e a resistência última é menor em relação à comparação do grau de corrosão para com a resistência última.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou os efeitos do grau de corrosão nas propriedades mecânicas de armaduras corroídas por meio de ensaios acelerados. Foi observado que à medida que o tempo de ensaio acelerado aumenta, maior o grau de corrosão e a dispersão dos valores. Além disso, de maneira geral, à medida que a corrosão se intensifica menores os valores de resistência ao escoamento e última observados para as barras, entretanto, a análise a partir do grau de corrosão deve ser feita de maneira criteriosa, visto que o grau de corrosão expressa a variação de massa das barras, sendo incapaz de analisar a morfologia gerada pela corrosão, uma vez que este processo não é uniforme.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao GPMAES e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela bolsa concedida (Edital 22/2019 - PROPPG - Programa de Apoio a Grupos de Pesquisa) para a realização desta pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- BALESTRA, C. E. T. **Influência do grau de corrosão na resistência a tração de armaduras - Estudo de caso das fundações da Nova Ala Zero do ITA**. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária) | Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, São Paulo, 2013.
- GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.
- MURAKAMI, F; *at al.* Resistência à tração de barras de aço corroídas. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 103, 30 jun. 2021. Universidade Estadual de Londrina.
- VIEIRA, D. V; *at al.* Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 431-444, 2010.