



Análise da corrosão de barras de aço em função da variação do pH do meio

G. Macioski¹, D. J. de Souza², A. P. Capraro Brandão², M. H. F. de Medeiros²

¹PPGEC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Brasil.

²PPGECC. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Brasil.

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v6i3.153>

Artículo recibido el 01 de Mayo de 2016, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 09 de Septiembre de 2016. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2017 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2017.

© 2016 ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 6, No. 3, Septiembre – Diciembre 2016, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, alconpat_int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org.

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de publicación: 30 de septiembre de 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

RESUMO

O objetivo deste estudo é analisar como o tipo de aço, o pH do meio e a proteção superficial da barra de aço são capazes de alterar as propriedades eletroquímicas deste metal. Para isso, foi aplicada a técnica de polarização linear em barras de aço para avaliar a corrosão das amostras. No estudo foram avaliados os aços CA-50, CA-60 e CP-175-RB, com e sem proteção superficial. Estudos como este são essenciais para o aprimoramento das técnicas de leitura, em especial para o entendimento dos resultados obtidos em reparos já realizados. A partir dos resultados foi possível observar como as três variáveis analisadas influenciaram os resultados da densidade de corrente e da taxa de corrosão.

Palavras-chave: taxa de corrosão, durabilidade, pH, polarização linear.

ABSTRACT

The aim of this study is to analyze how the steel type, the environment pH and surface protection of steel bar are able to change the electrochemical properties of this metal. Therefore it was applied the linear polarization technique to steel bars to assess the corrosion of the samples. The study evaluated the CA-50, CA-60 and CP-175-RB steels bars, with and without surface protection. Studies like this are essential for the improvement of reading techniques, especially for the understanding of the results obtained in repairs already made. From the results, it was possible to observe how the three variables influenced the results of the current density and corrosion rate.

Keywords: corrosion rate, durability, pH, linear polarization.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar cómo el tipo de acero, el pH de la protección media y la superficie de la barra de acero son capaces de cambiar las propiedades electroquímicas de este metal. Para esto se aplicó la técnica de polarización lineal en barras de acero para evaluar la corrosión de las muestras. El estudio evaluó los aceros CA-50, CA-60 y CP-175-RB, con y sin protección superficial. Estudios como éste son esenciales para la mejora de las técnicas de lectura, especialmente para la comprensión de los resultados obtenidos en las reparaciones ya realizadas. A partir de los resultados fue posible observar cómo las tres variables influyeron en los resultados de la densidad de corriente y velocidad de corrosión.

Palabras clave: velocidad de corrosion, durabilidad, pH, polarización lineal.

Autor de contacto: Gustavo Macioski (gmacioski@gmail.com)

1. INTRODUÇÃO

O problema da corrosão consome direta ou indiretamente cerca de 5% do PIB de uma nação industrializada, além de envolver grandes catástrofes quando não corretamente tratado (Cunha *et al.*, 2013). Grande parte dos problemas relacionados à corrosão está associada à falta de revestimento adequado de concreto, uma vez que o concreto oferece ao aço uma dupla proteção: primeiramente uma proteção física, separando o aço do contato direto com o meio externo e, segundo, uma proteção química, conferida pelo elevado pH do concreto, o qual promove a formação de uma película passivadora que envolve o aço (Figueiredo e Meira, 2012).

A corrosão pode ser definida basicamente como a deterioração de um metal ou liga, a partir de sua superfície, pelo meio no qual está inserido. O processo envolve reações de oxidação e de redução (redox) que convertem o metal ou componente metálico em óxido, hidróxido ou sal (Silva *et al.*, 2015).

São diversos os fatores que influenciam nos parâmetros de corrosão de um metal imerso no concreto: o coeficiente de difusão do concreto, a relação água/cimento, a espessura de revestimento, a presença e a quantidade de adições, a umidade relativa, o pH do concreto e a temperatura de exposição (Andrade, 2001; Gu e Beaudoin, 1998). Também são relevantes os tipos de sistema de proteção aplicados no material metálico, uma vez que o concreto armado pode receber proteção de superfície sobre o concreto ou sobre as barras de aço (Figueiredo e Meira, 2012).

Quando a estratégia é proteger a barra de aço, a técnica de proteção pode ser aplicada na construção de estruturas novas ou em áreas de reparo localizado quando há preocupação com a corrosão das armaduras (Araujo, Panossian e Lourenco, 2013).

Na intenção de oferecer segurança e durabilidade às estruturas, empresas do ramo químico e de produtos para construção civil disponibilizam no mercado diferentes formas de proteção quanto à corrosão (Vieira *et al.*, 2010). No caso de reparos, alguns autores descrevem os principais métodos de proteção utilizados no Brasil (Figueiredo e Meira, 2012), conforme apresentado na Figura 1.

Técnicas eletroquímicas	Revestimentos	Armaduras especiais	Inibidores do corrosão
<ul style="list-style-type: none"> • Proteção catódica • Realcalinização 	<ul style="list-style-type: none"> • Galvanização • Resina epoxi 	<ul style="list-style-type: none"> • Aço inoxidável • Plástica sem fibras 	<ul style="list-style-type: none"> • Orgânicos • Inorgânicos

Figura 1. Métodos de proteção mais utilizados em barras de aço durante reparos estruturais. Fonte: Adaptado de Figueiredo e Meira (2012)

Destaca-se que na área de diagnóstico de manifestações patológicas é inerente a conciliação entre investigação, ensaios, interpretação de resultados e domínio dos últimos avanços quanto ao prognóstico dos mecanismos de deterioração da estrutura e fatores influentes (Medeiros *et al.* 2012). Neste sentido, este trabalho tem o objetivo de avaliar como o tipo de aço, o pH do meio e o tipo de proteção de superfície utilizada na barra de aço são capazes de alterar as características eletroquímicas do mecanismo de corrosão. Este tipo de estudo é essencial para que se entenda melhor os fatores influentes na corrosão e qual a eficácia de produtos de reparo, bem como a previsão da vida útil de estruturas de concreto armado.

2. RESISTÊNCIA À POLARIZAÇÃO LINEAR (LPR)

São diversos os tipos de medida para controle da corrosão, contudo a densidade de corrente e o potencial de corrosão são os mais utilizados no diagnóstico de estruturas de concreto armado (Tavares, 2006). Na Tabela 1 e Tabela 2 são apresentados os níveis de corrosão em função de valores de densidade de corrente e do potencial de corrosão.

Tabela 1. Relação da densidade de corrente por nível de corrosão.

I_{cor} (µA/cm²)	Taxa de corrosão (µm/ano)	Nível de corrosão
< 0,1	< 1,16	Estado passivo
0,1 a 0,5	1,16 a 5,80	Baixo para moderado estado de corrosão
0,5 a 1,0	5,80 a 11,60	Moderado para alto estado de corrosão
> 1,0	>11,60	Alta taxa de corrosão

Fonte: Cunha *et al.* (2003)

Tabela 2. Critério de avaliação do potencial de corrosão.

Valor do potencial de corrosão	Probabilidade de estar ocorrendo corrosão
< - 350 mV	90 %
- 200 mV a - 350 mV	Incerteza
> - 200 mV	10%

Fonte: ASTM C 876 (2009)

Das várias técnicas utilizadas para estudo de corrosão e para a determinação da densidade de corrente, do potencial de corrosão e da taxa de corrosão, a polarização linear (LPR) é mais aplicada (Alves *et al.*, 2012), e sua grande aplicação se faz devido à rapidez e comodidade com que se podem determinar as variáveis medidas. O objetivo desta técnica é medir a resistência que um dado material, exposto a determinado meio, oferece à oxidação durante a aplicação de um potencial externo.

Para a realização da técnica é comum o uso de um potenciostato para a aplicação de diferentes potenciais (tensões) no eletrodo de referência (Flores *et al.*, 2013). Assim, quando o potencial é diferente do potencial de corrosão, o equipamento registra a corrente aplicada (Fofano, 1999). Desta forma, obtém-se a variação da corrente lida em função do potencial aplicado (E vs. I) como apresentado na Figura 3. Outro parâmetro de controle obtido é a resistência de polarização que pode ser considerada como a relação entre a diferença de potencial e a corrente aplicada (Liu, 1993).

A partir destes dados podem ser realizadas medidas quantitativas de diversos parâmetros eletroquímicos de corrosão, com base nas equações apresentadas pela ASTM G 59 (1997) e por Wolyneec (2003). A densidade de corrente, por exemplo, pode ser calculada conforme apresentado na Equação 1 e na Equação 2.

$$i_{cor} = \frac{B}{R_p} \quad (1)$$

$$B = \frac{\beta_a |\beta_c|}{2,303.(\beta_a + |\beta_c|)} \quad (2)$$

Onde: i_{corr} é a densidade de corrente de corrosão (A/cm²), β_a é a inclinação anódica de Tafel e β_c é a inclinação catódica de Tafel (V/década), e R_p é a resistência à polarização (ohm/cm²), conforme apresentado na Figura 2.

A taxa de corrosão – TC (mm/ano), por sua vez, pode ser determinada a partir da Equação 3, onde Eq é o equivalente eletroquímico da espécie corroída (g), e ρ é a densidade do material corroído (g/cm³).

$$TC = 3,27 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{i_{cor} \cdot Eq}{\rho} \quad (3)$$

A taxa de corrosão TC (μm/ano) pode ser considerada também equivalente a 11,6 vezes I_{corr} (μA/cm²) para uma barra de aço (RILEM, 2000).

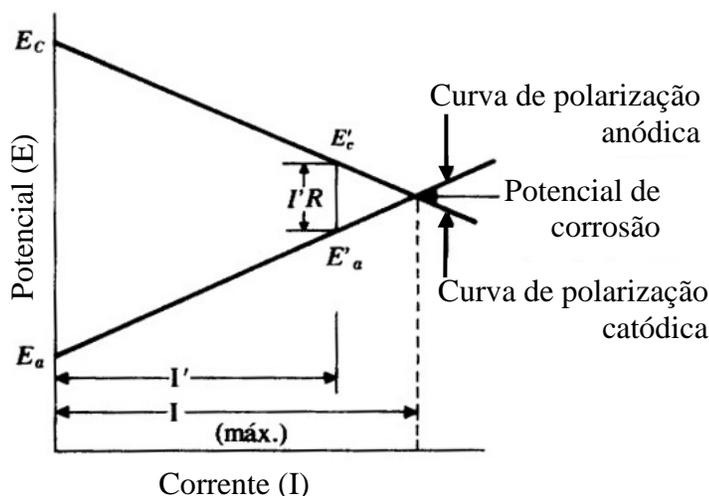


Figura 2. Representação das curvas de polarização anódica e catódica de um metal. Fonte: Wolyneć (2003).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão apresentados os materiais utilizados nesta pesquisa e os métodos de ensaio adotados. Os tipos de aço a serem ensaiados foram escolhidos a partir das indicações da ABNT NBR 7480 (1996) que trata dos aços destinados a estruturas de concreto armado e da ABNT NBR 7482 (2008) que trata dos aços para estruturas de concreto protendido. Outro critério para a seleção dos tipos de aço foi a proximidade dos diâmetros entre as classes, para menor variabilidade nos resultados. Os tipos selecionados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Barras de aço ensaiadas.

Aço	Diâmetro
CA – 50	6,3 mm
CA – 60	5,0 mm
CP – 175 RB E	6,0 mm

Para cada aço da Tabela 3, foram utilizadas quatro amostras de 15 cm de comprimento, limpas com uma solução de ácido clorídrico de acordo com a ASTM G1 (2011).

Os ensaios foram realizados com as barras imersas em soluções de diferentes pH, alterados com a adição de hidróxido de sódio e controlados através de um pHmetro de bancada a 25°C. As soluções apresentavam os valores de 7, 9 e 11 de alcalinidade iniciais, sendo que não foram feitas correção do pH após início do ensaio. As leituras foram realizadas aos 7 e 30 dias. Cabe salientar que as barras de aço ficaram em recipientes, hermeticamente fechados, e imersas em solução agressiva, assim, não houve carreamento de material nem acréscimo de substâncias ou gases.

Antes dos ensaios, parte das barras foi submetida a um método de proteção de superfície. O sistema de proteção utilizado foi um conversor de ferrugem em duas demãos com intervalo de 60 minutos, com posterior aplicação por uma pintura acrílica. O produto de proteção utilizado apresenta densidade de $1,03\text{g/cm}^3$, teor de sólidos de 10 a 15%, pH de 2,6 e composição química de extrato orgânico de *Acacia mearnsi* (3-15%), ácido cítrico (2-10%), copolímero acrílico (5-20%), aditivo *2-Butoxy ethanol* (3-15%). Foram realizados ensaios de resistência à polarização linear (LPR) conforme prescrito pela ASTM G 59 (1997) através de um potenciostato modelo SP-200 da BioLogic – Figura 3 – que utilizou um eletrodo de cobre-sulfato de cobre (Cu/CuSO_4) e aplicou tensões variando de -2V a +2V.

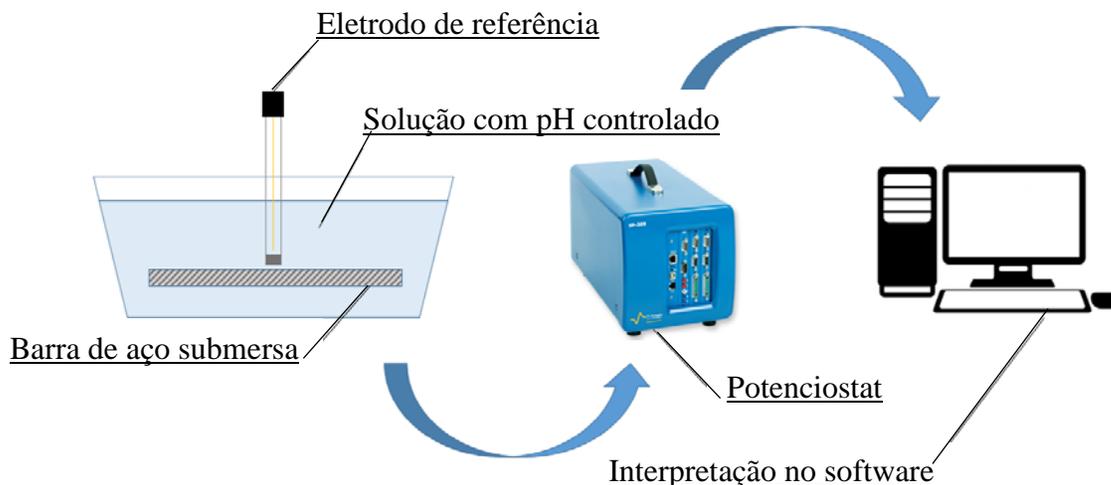


Figura 3. Ensaio realizado com o Potenciostato SP-200.

Para cada condição de ensaio (pH e tipo de proteção) foram realizadas quatro leituras, sendo que o eletrodo foi posicionado o mais próximo da barra de aço durante as leituras. Após os ensaios, as curvas de polarização foram analisadas e, desta forma, foi possível obter o potencial de corrosão (E_w), a densidade de corrente de corrosão (I_{corr}), a taxa de corrosão (TC), e a resistência de polarização (R_p) para cada uma das barras de aço – com e sem proteção – nos diferentes pHs.

Para validação dos resultados encontrados aplicou-se o teste estatístico de Tukey para comparação múltipla dos resultados, assim evidenciando as diferenças entre os resultados obtidos, com um grau de confiança de 95%. Sendo que a análise estatística foi realizada apenas para os resultados da densidade/taxa de corrosão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os resultados das medidas de corrosão das barras de aço submetidas a diferentes níveis de pH, com e sem proteção de superfície na barra. A Figura 4 e 5 apresentam os resultados de potencial de corrosão para as barras de aço aos 7 e 30 dias, respectivamente. Os dados foram classificados com base na probabilidade de corrosão apresentada na Tabela 2.

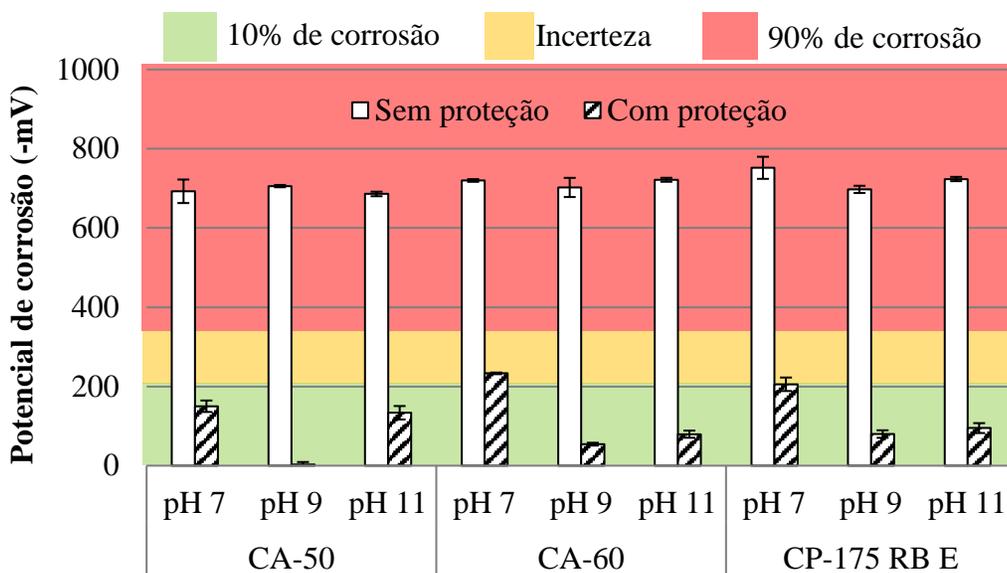


Figura 4. Potencial de corrosão das barras aos 7 dias. (Eletrodo de referência: cobre-sulfato de cobre - Cu/CuSO₄).

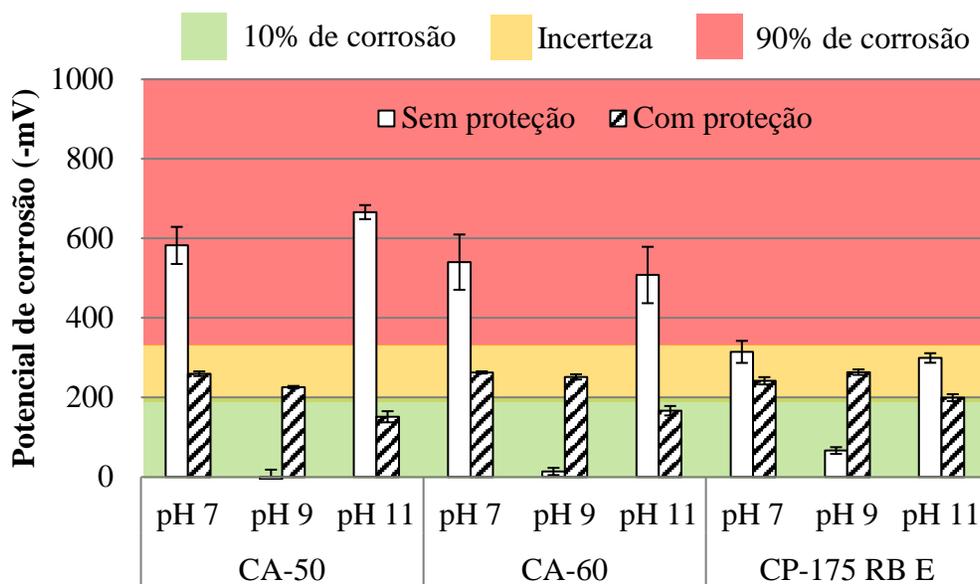


Figura 5. Potencial de corrosão das barras aos 30 dias. (Eletrodo de referência: cobre-sulfato de cobre - Cu/CuSO₄).

Observa-se na Figura 4 que, aos 7 dias, todas as barras de aço sem proteção apresentam um potencial de corrosão com probabilidade de 90%, com média de -711mV. Enquanto 78% das barras protegidas se encontram com baixa probabilidade de corrosão (10% de ocorrência), com leituras variando entre -3mV e -205mV. Os resultados da Figura 4 evidenciam a ação do conversor de ferrugem no potencial de corrosão nas idades iniciais de aplicação.

Aos 30 dias (Figura 5), as barras sem proteção de superfície tiveram seu potencial de corrosão aumentado, apresentando resultados entre -6mV e -582mV. Ainda aos 30 dias, as barras com proteção sofreram um aumento no potencial de corrosão, com redução para 33% das amostras na zona de baixa probabilidade de corrosão – com média de leitura de -224mV. Também foram avaliados os resultados

da densidade de corrente e da taxa de corrosão em função do nível de corrosão conforme apresentado nas Figuras 6 e 7.

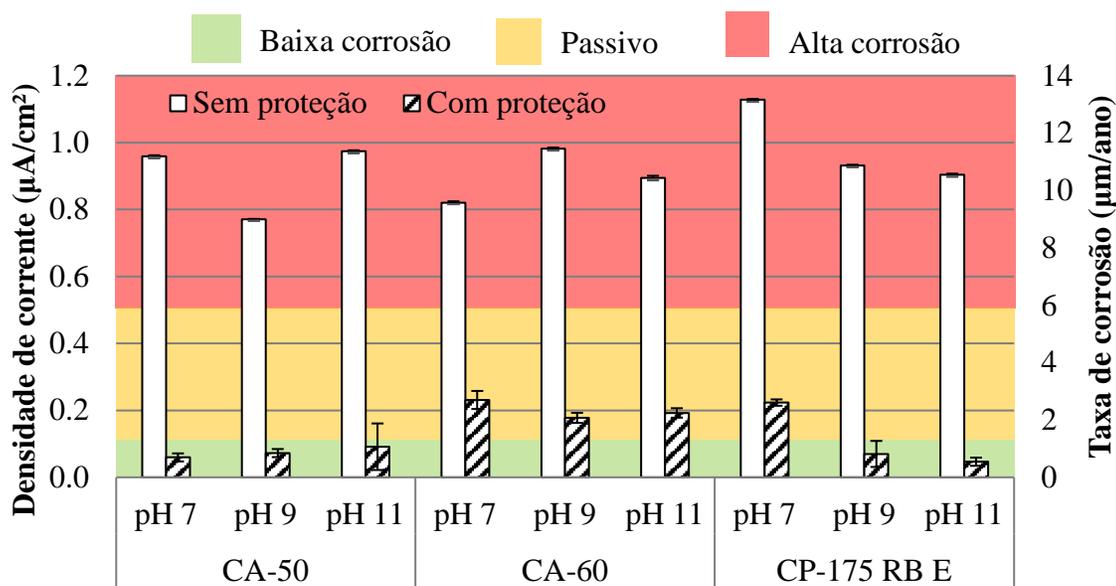


Figura 6. Densidade de corrente e taxa de corrosão das barras aos 7 dias. (eletrodo de referência: cobre-sulfato de cobre - Cu/CuSO₄).

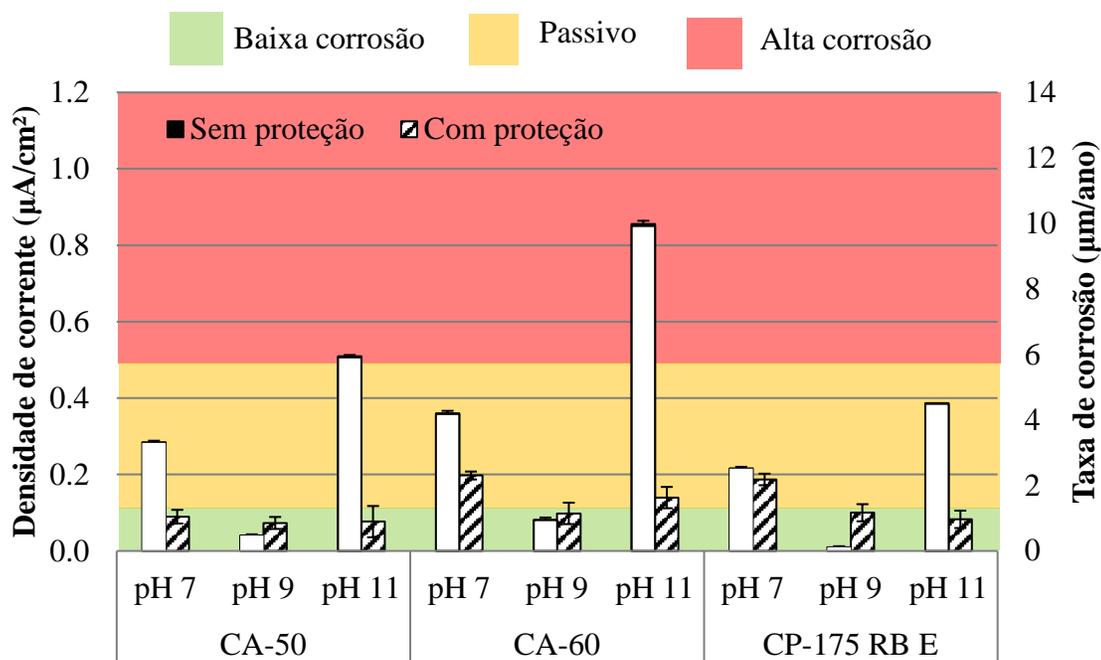


Figura 7. Densidade de corrente e taxa de corrosão das barras aos 30 dias (eletrodo de referência: cobre-sulfato de cobre - Cu/CuSO₄).

Com os dados apresentados na Figura 6 é possível observar que para as análises aos 7 dias ocorrem altos valores de taxa de corrosão nas barras sem proteção, ou seja, um estado de corrosão generalizado (com todos dos resultados classificados em corrosão moderada para alta, e densidades de corrente superiores a 0,77 μA/cm²). Além de comportamento variado dos valores entre as barras, ou seja, sem uma tendência

clara e conclusiva sobre a maior ou menor tendência de corrosão de cada tipo de aço. Deve-se destacar na Figura 6 que em todos os casos a taxa de corrosão foi maior nas barras sem proteção, se comparadas com a barras de aço que tiveram sus superfície protegida que atingiram densidades de corrente inferiores a $0,23 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, com 78% dos resultados na zona de passividade. Nota-se que o aço CA-60 com proteção apresentou os maiores valores de taxa de corrosão quando comparado com os outros resultados de aços protegidos superficialmente.

Já para as análises realizadas aos 30 dias (Figura 7) tem-se uma queda de taxa de corrosão em todos os casos. Estando a maior parte dos casos incluídos nos dois primeiros grupos de classificação do estado de corrosão: passivo e reduzido a moderado estado de corrosão, com exceção dos aços CA-50 e CA-60 no ambiente por pH igual a 11.

Sabe-se que durante os períodos iniciais de exposição à atmosfera, a taxa de corrosão dos aços-carbono é usualmente elevada. Isso se deve à alta porosidade da ferrugem inicialmente formada, composta basicamente por óxidos de ferro. Após esse período inicial, as propriedades protetoras melhoram, e a taxa de corrosão decresce (Panonni *et al.*, 1993). Devido a este comportamento, são utilizados modelos exponenciais para representar a taxa de corrosão ao longo do tempo (Hakkarainen, 1982; Barton, 1980; Pannoni e Marcondes, 1991). Desta forma, os resultados obtidos estão de acordo com os resultados observados por outros autores.

Portanto, a queda na taxa de corrosão foi possivelmente causada pela corrosão inicial severa no material, que teve como consequência a formação de uma camada de produtos da corrosão na superfície exposta das armaduras, o que, em outras palavras, pode ter dificultado o contato entre as amostras de aço e as soluções. Outra hipótese não abordada por outros autores é a variação de oxigênio presente na solução, ou seja, com a oxidação do ferro houve uma diminuição da concentração de oxigênio presente; ou seja, o próprio produto de corrosão tendeu a reduzir a velocidade do progresso da corrosão das armaduras, por se constituir como uma barreira física ao acesso do eletrólito.

Nota-se ainda que a barra de aço CA 60, de modo geral, apresentou valores mais altos que as demais, indicando uma maior suscetibilidade à corrosão, contudo, sem significância estatística. Também deve-se destacar que a capacidade de proteção do sistema de tratamento de superfície do aço não se apresenta mais eficaz aos 30 dias de exposição as condições de corrosão. Para permitir uma melhor análise da influência do pH da solução, foram elaboradas as Figuras 8 e 9 em função do pH das soluções.

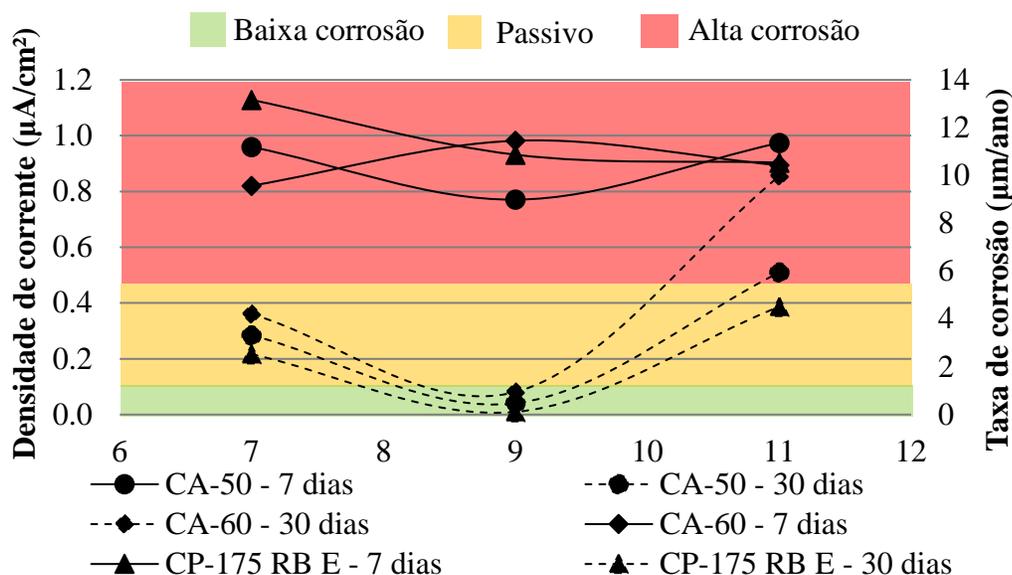


Figura 8. Densidade de corrente e taxa de corrosão das barras sem proteção. (eletrodo de referência: cobre-sulfato de cobre - Cu/CuSO_4). Fonte: Autoria própria (2016).

A partir dos resultados apresentados na Figura 8 pôde-se observar que o pH pouco influenciou os resultados das barras sem proteção, expostas por um período de 7 dias, sendo que as amostras obtiveram um valor de densidade de corrente na faixa de 0,8 a 1,1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, sendo classificadas com um estado de corrosão de moderado a elevado. Enquanto que aos 30 dias, as barras sem proteção apresentaram resultados variados de taxa de corrosão, com destaque para a redução da corrosão para aquelas que se encontravam na solução de pH=9 – atingindo a passividade.

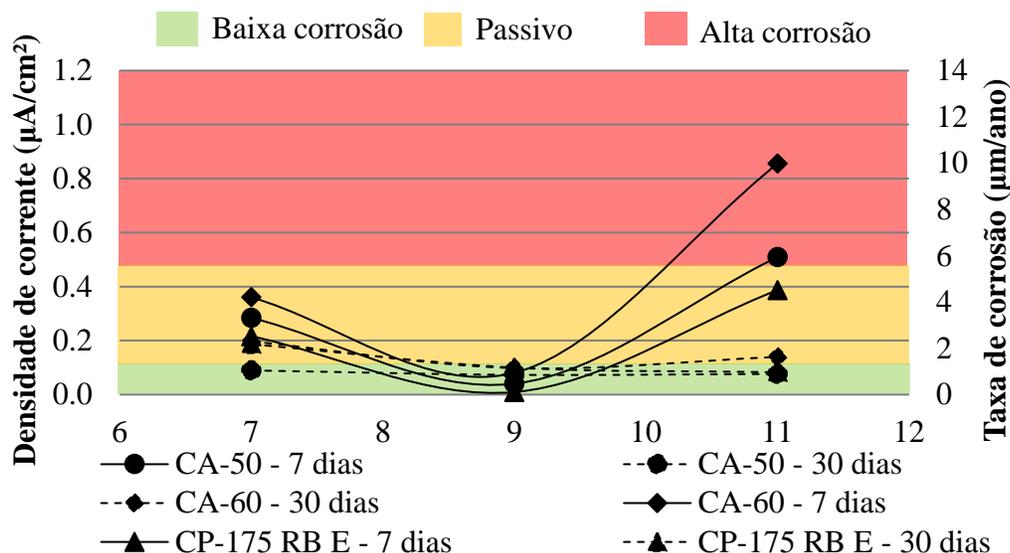


Figura 9. Densidade de corrente e taxa de corrosão das barras com proteção. (eletrodo de referência: cobre-sulfato de cobre - Cu/CuSO_4).

Ao analisar as barras com proteção de superfície (Figura 9), nota-se que aos 7 dias ocorreu uma variação na densidade de corrente, com aumento das taxas, mesmo das barras protegidas, quando pH=11 com valores de até 0,85 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Aos 30 dias o pH das soluções não se mostrou influente nos resultados da densidade de corrente, com resultados próximos da passividade. Contudo, é possível destacar que o pH=9 inibiu o processo de corrosão em todas as barras protegidas.

Assim como nos resultados de pH, a variação do tipo de aço utilizado, seja CP, CA 50 ou CA 60, pouco influenciou na variabilidade dos resultados. Porém, observa-se que em dois cenários (30 dias sem proteção e 7 dias com proteção) o CP-175 foi o aço menos prejudicado pelo efeito da corrosão, seguido pelos aços CA 50 e CA 60. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de existir de 0,15 a 0,40 % de carbono nos aços CA 50 e CA 60, enquanto que CP-175 apresenta teores de 0,70 a 1,20 % carbono (ARCELORMITTAL, 2016). Assim, por apresentar um menor teor de ferro em sua composição química, o aço para protensão tende a apresentar uma menor taxa de formação de óxido de ferro.

A Figura 10 mostra uma correlação entre os resultados de potencial de corrosão e da densidade de corrente e verifica-se que existe uma correlação entre as duas grandezas de monitoramento da corrosão, com R^2 igual a 0,83.

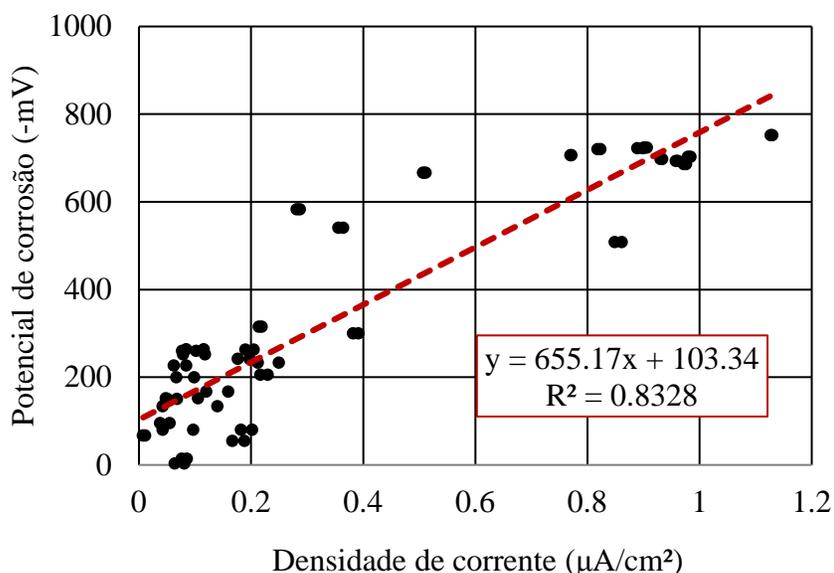


Figura 10. Correlação entre medidas realizadas. (eletrodo de referência: cobre-sulfato de cobre - Cu/CuSO₄).

Este resultado é esperado uma vez que o aumento do potencial de corrosão induz um aumento da inclinação Tafel e, conseqüentemente, da densidade de corrente. A existência de boa correlação comprova a eficácia das técnicas aplicadas.

A fim de se comprovar a diferença entre os resultados obtidos, foi realizada a análise estatística pelo teste de Tukey conforme apresentado na Figura 11. No teste, os intervalos de confiança representam a interação entre duas amostras, caso haja a intersecção entre o intervalo do limite inferior e superior das amostras com o eixo vertical zero, pode-se afirmar que as diferenças entre elas não são significativas.

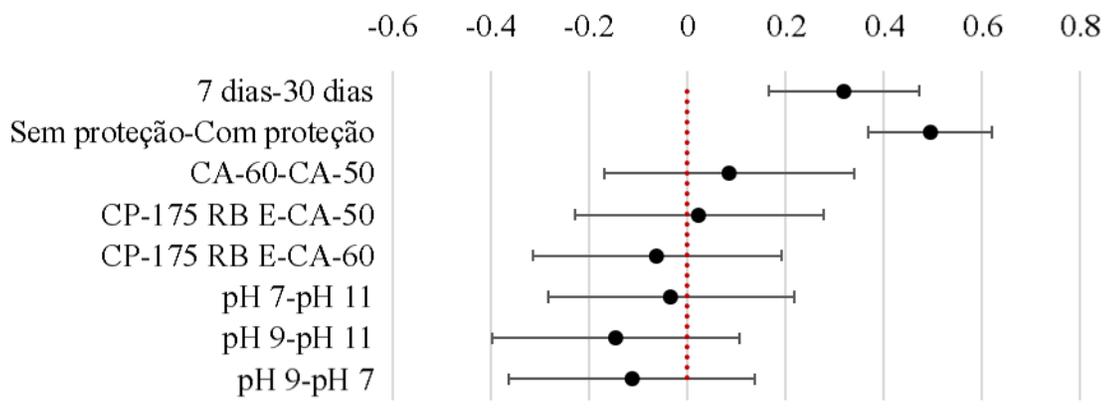


Figura 11. Teste Tukey para comparação múltipla de médias.

Conforme resultados apresentados na Figura 11, ocorreram diferenças - com significância superior a 95% - entre os resultados obtidos aos 7 e 30 dias, bem como entre as barras com e sem proteção de superfície. Desta forma, a proteção foi capaz de melhorar as propriedades eletroquímicas do aço em diferentes pHs, reduzindo a taxa de corrosão e a densidade de corrente.

Ainda de acordo com a Figura 11, observa-se que o tipo de aço utilizado e o pH das soluções não exerceram influência estatisticamente significativas nos resultados obtidos. Este comportamento se justifica pelo desvio observado nos valores da densidade de corrente, com comportamentos divergentes em cada uma das condições analisadas.

Contudo, mesmo sem significância estatística, quando analisados os desvios no teste Tukey causados pelo tipo de aço, nota-se que os aços que apresentaram a menor diferença nos resultados foram os aços CP-175 e CA-50. Quanto ao pH das soluções, nota-se que o pH=9 foi o que gerou uma maior diferença nos resultados (quando observado o desvio das análises pH 9 – pH 11 e pH 9 – pH 7).

Este tipo de análise é fundamental para comprovar que os estudos de durabilidade necessitam cada vez mais avaliar outras variáveis que podem influenciar nos ensaios realizados e as interações do meio ambiente em que os materiais se encontram com o aço e concreto.

5. CONCLUSÃO

De uma forma geral, foi confirmada a influência de variáveis no processo de corrosão em barras de aço: tempo e sistema de proteção de superfície. Neste trabalho foi possível observar altos valores de taxa de corrosão em idades iniciais, com redução aos 30 dias pela alteração do meio - causada pelo material resultante do processo de corrosão (possível deposição superficial na barra e alteração da concentração de oxigênio na solução). Observou-se que barras submetidas a proteção de superfície demonstraram capacidade de manter a taxa de corrosão em valores baixos mesmo com idades avançadas.

Quanto à análise entre as classes dos aços concluiu-se que, ocorreu uma pequena diferença entre os valores, sem influenciar de forma estatisticamente significativa nos resultados da densidade de corrente e taxa de corrosão. O pH das soluções, por sua vez, também não se mostrou estatisticamente influente nos resultados obtidos.

Vale destacar que o método de polarização linear para medidas da taxa de corrosão se mostrou eficiente e preciso em suas determinações, com boa correlação entre as medidas realizadas do potencial de corrosão e da densidade de corrente. Além disso, pode-se afirmar a importância de realização de mais estudos focados em entender as variáveis que influenciam os processos de corrosão, permitindo, assim, uma melhor previsão da vida útil das estruturas de concreto armado.

6. REFERENCIAS

Alves H. G., Neri K. D., Ferreira P. R. R. (2012), *Aplicação da técnica de polarização linear para detectar corrosão em concreto armado atacados por sulfatos e cloretos*. Artigo Técnico. Congresso Brasileiro de Química.

American Society for Testing and Materials. ASTM C 876. *Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*. Philadelphia. 1991.

American Society for Testing and Materials. ASTM G 59. *Standard Practice for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements*. Philadelphia. 1997.

American Society for Testing and Materials. ASTM G1. *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*. Philadelphia. 2011.

Andrade, J. J. de O. (2001), *Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos*. Tese de Doutorado. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Civil – PPGEC. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul – UFRGS.

Araujo, A., Panossian, Z. E., Lourenco, Z. (2013), *Proteção catódica de estruturas de concreto*. Rev. Ibracon Estrut. Mater. [online]. vol.6, n.2, pp. 178-193. ISSN 1983-4195.

ARCELOR MITTAL. *Manual do Processo de Fabricação de CA50S, CA25 e CA60 Nervurado*. 2016. Disponível em: < <http://longos.arcelormittal.com/pdf/produtos/construcao-civil/outros/manual-fabricacao-ca-50-ca-60.pdf>> Acesso em 21.08.2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7480 - Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado*. Rio de Janeiro, 1996.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7482 - Fios de aço para concreto protendido*. Rio de Janeiro, 2008.

Barton, K. *et al.*, *Zasch. Met.*, 16, p. 387 (1980)

- Cunha, M., Helene, P., Lourenço, M. (2013), *Corrosão Em Estruturas De Concreto Armado: Teoria, Controle E Métodos De Análise*. Elsevier Brasil,
- Figueiredo, E. P., Meira, G. (2012), *Corrosión de armadura de estructuras de hormigón*. Boletín Técnico 6. Asociación Latino americana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción.
- Flores, C., Rodríguez, S., Cárdenas, A.; Guarneros, O. (2013), Evaluación mecánica de concreto y de corrosión en mortero con partículas de neumático reciclado. Revista ALCONPAT, 3(3), 192-203.
- Fofano, S. (1999), *Avaliação de Técnicas Eletroquímicas na Monitoração de Corrosão por Sulfetos em 1999*.
- Gu, P., Beaudoin, J. J. (1998), *Obtaining Effective Half-Cell Potential Measurements in Reinforced Concrete Structures*. Construction Technology Update No. 18. Institute for Research in Cosntruction.
- Hakkarainen, T., Ylasaari, S. in Ailor, E. H. (1982), *Atmospheric Corrosion*, ed., Wiley, New York.
- Liu, Y. (1996), *Modeling the Time-to-Corrosion Cracking of the Cover Concrete in Chloride Contaminated Reinforced Concrete Structures*. Tese de doutorado: Virginia Polytechnic Institute and State University, 128p.
- Medeiros, M. H. F., Giordano, D. E., Pereira, E., Vignolo, A., Galeano, R., & Helene, P. (2012), *Inspeção no palacio de la luz–Montevideo: uma visão de durabilidade*. Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, 2(2), 93-108.
- Pannoni, F. D. et al. (1993), *Investigação da corrosão de um aço-carbono e de um aço patinável submetidos a diferentes condições ambientais*. Anais do 48º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), p. 135.
- Pannoni, F. D., Marcondes, L. (1991), *Efeito da composição química da liga sobre o comportamento frente à corrosão atmosférica de aços determinado pela análise estatística de dados publicados*. Anais do 16º Congresso Brasileiro de Corrosão da Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO), p. 67.
- RILEM Recommendations of TC 154-EMC (2000), *Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion, Test methods for on site measurement of resistivity of concrete, Materials and Structures*.
- Silva, M. V. F., Pereira, M. C., Codaro, E. N. (2015), *Corrosão do aço-carbono: uma abordagem do cotidiano no ensino de química*. Química Nova, v. 38, n. 2, p. 293–296, 2015. Acesso em: 6/5/2015.
- Tavares, L. M. (2006), *Estudo Do Processo De Corrosão Por Íons Cloreto No Concreto Armado Utilizando Armaduras Comuns E Galvanizadas*. Dissertação de mestrado. Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande Do Sul.
- Vieira, D. V., Pelisser, F., Paula, M. M. Da S., Mohamad, G., Nóbrega, A. C. V. Da. (2015), *Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado*. Matéria (Rio de Janeiro), v. 15, n. 3, p. 430–444, 2010. Acesso em: 6/5/2015.
- Wolyneec, S. (2003), *Técnicas Eletroquímicas em Corrosão*, São Paulo, Edusp.