



ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO POTENCIAL DE CORROSÃO PRODUZIDO A PARTIR DA ASTM C 876

**NOBRE, Guilherme Gomes (1); SILVA, Maykon Vieira (2); SILVA, Yuri
Stephano Pereira (3); SOUZA, Nelson Lucas de Queiroz (4) ; FERREIRA,
Bárbara Emily dos Santos (5)**

- (1) Universidade Católica de Brasília, gui.gnobre@gmail.com
(2) Universidade Católica de Brasília, eng.maykonsilva@gmail.com
(3) Universidade Católica de Brasília, yuristephano10@outlook.com
(4) Universidade Católica de Brasília, nelsonbrazdequeiroz@hotmail.com
(5) Universidade Católica de Brasília, barbaraemilly880@gmail.com

RESUMO

Nas estruturas de concreto armado uma das principais manifestações patológicas é a corrosão do aço e detectá-la é um grande problema, pois normalmente só se dá conta de sua existência quando está em níveis avançados de deterioração. Porém, na atualidade, existem alguns ensaios para sua identificação, como o potencial de corrosão que consiste em uma análise da diferença de potencial eletroquímico entre a barra de aço e um eletrodo de referência que é posicionado em contato com a superfície de concreto, onde através de faixas preestabelecidas pode realizar uma prévia do estado do aço. Essa técnica não determina o grau de corrosão, apenas a sua existência ou não, ou seja, essa é uma técnica qualitativa e não quantitativa, porém um dos grandes problemas dessa técnica é que os equipamentos que fazem essas leituras são muito caros, dificultando o seu uso. O presente trabalho teve como objetivo a utilização da técnica do potencial de corrosão fabricado seguindo a norma americana ASTM C 876 para identificação do processo de corrosão, no qual foram moldadas 9 corpos de provas (CPs) prismáticos e foram colocadas 1 barra limpa com ácido em cada CP, depois foram deixados em água com sal (NaCl) com uma concentração de 10% por 28 dias, onde 2 dias eram submersos e 5 dias ficavam em estufa a 60°C. Após cada ciclo, ou submerso em água com sal, ou aquecidos na estufa, foram realizadas as leituras com o equipamento produzido. Depois da última leitura, verificou-se que todos CPs tinham uma probabilidade de mais 90% de estarem corroídos e com isso foram submetidos à ruptura, provando a existência da corrosão, comprovando que o uso desse equipamento é eficaz para a identificação de corrosão em estruturas de concreto armado.

Palavras-chave: Corrosão, Concreto Armado, Potencial de corrosão.

ABSTRACT

In reinforced concrete structures one of the main pathological manifestations is the corrosion of steel and detecting it is a major problem, as it is usually only realized when it is at advanced levels of deterioration. However, there are currently some tests for its identification, such as the corrosion potential consisting of an analysis of the electrochemical potential difference between the steel bar and a reference electrode that is positioned in contact with the concrete surface, where through of pre-established ranges can make a preview of the state of the steel. This technique does not determine the degree of corrosion, only its existence or not, ie, this is a qualitative rather than quantitative technique, but one of the major problems with this technique is that the equipment that makes these readings is very expensive, making it difficult to its use. The present work aimed to use the corrosion potential technique manufactured following the American standard ASTM C 876 to identify the corrosion process, in which 9 prismatic specimens (CPs) were molded and 1 clean acid bar was placed in each CP, then left in

10% salt water (NaCl) for 28 days, where 2 days were submerged and 5 days in a greenhouse at 60°C. After each cycle, either submerged in salted water or heated in the oven, readings were taken with the equipment produced. After the last reading, it was found that all PCs were 90% more likely to be corroded and thus ruptured, proving the existence of corrosion, proving that the use of this equipment is effective for identifying corrosion in structures. of reinforced concrete.

Keywords: Corrosion, Reinforced Concrete, Corrosion potential.

1 INTRODUÇÃO

Dentre uma grande variedade de materiais empregados para a construção de habitações para a moradia do homem, sem dúvida o concreto é um dos materiais que tem uma maior gama de utilizações dentro da sociedade moderna (MEHTA; MONTEIRO,1994). É praticamente inconcebível dissociar o desenvolvimento tecnológico da humanidade do desenvolvimento e do uso do concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), estima-se que o atual consumo mundial de concreto é da ordem de 5,5 bilhões de toneladas por ano. A utilização em larga escala do concreto como material de construção se deve a algumas características que o mesmo apresenta e que são extremamente peculiares, tais como a facilidade de execução de elementos de diversas formas e tamanhos, a disponibilidade dos materiais constituintes e, principalmente, pelo menor custo se comparado a outras opções de construção existentes, principalmente com as estruturas metálicas.

Durante muitos anos todo o meio técnico admitia que o concreto era um material que não necessitava de maiores cuidados de manutenção, em função do excelente desempenho que se observava nas obras construídas por esse sistema construtivo. Desta forma, o mesmo foi largamente empregado em uma grande variedade de ambientes e sob condições de exposição extremamente desfavoráveis.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a durabilidade de uma estrutura pode ser entendida como a sua capacidade de resistir aos mecanismos de deterioração. Sendo assim, quando esta função não é desempenhada de maneira apropriada, torna-se necessário reabilitar a construção.

Um dos maiores mecanismos de deterioração das estruturas se deve a corrosão das armaduras, causada por agentes agressivos como: de íons de cloreto e carbonatação (Barbosa, 2012).

De acordo com Cascudo (1997), a corrosão das armaduras é um fenômeno que compromete a estrutura do ponto de vista estético e estrutural devido à perda de seção das barras e formação de produtos de caráter expansivo, provocando redução da seção resistente, destacamento do concreto e perda de aderência entre a armadura e o concreto.

Helene (1993) diz que no sentido mais amplo, a corrosão pode ser definida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, seja por ação física, química, eletroquímica, ou a combinação destas. Como ações físicas características podem-se citar os fenômenos de erosão e cavitação, como ação eletroquímica a maioria dos processos corrosivos de metais em meios aquosos e como químicas as reações de expansão e de lixiviação dos compostos hidratados da pasta de cimento Portland em argamassas e concretos.

Quando estamos tratando de deterioração do aço, dois são os processos de corrosão que podem agir; o denominado de corrosão eletroquímica, de grande importância no campo da corrosão das armaduras, e o de oxidação direta.

Segundo Helene (1993), na corrosão eletroquímica o fenômeno ocorre como resultado da formação de pilhas ou células de corrosão devido presença de umidade, água ou uma solução aquosa na superfície das barras ou no concreto que a envolve, que possam atuar como eletrólito. A dissolução do aço ocorre nas regiões anódicas e o processo não é uniforme pois nas regiões catódicas o ataque pode ser considerado desprezível. A corrosão das armaduras de aço em presença de umidade ou temperatura ambiente pode ser considerado sempre um processo do tipo corrosão eletroquímica. Na oxidação direta os átomos do aço reagem diretamente com o oxigênio, geralmente uma reação gás-metal ou íon-metal com formação de uma película uniforme e contínua de óxido de ferro. Este tipo de corrosão é muito lento à temperatura ambiente podendo ser significativa somente em altas temperaturas.

Devido à grande necessidade de inspeções periódicas em estruturas de concreto armado e o alto custo dos aparelhos que se encontram disponíveis no mercado, o presente trabalho tem como objetivo, utilizar o potencial de corrosão e verificar sua confiabilidade para identificar corrosão.

Regido pela norma americana ASTM C876:2015, o ensaio consiste na utilização de um voltímetro de alta impedância e um eletrodo de referência de cobre-sulfato de cobre que fornecem leituras eletroquímicas da armadura, podendo ser correlacionáveis com a probabilidade de corrosão.

O eletrodo de referência é composto por um material inerte. Em seu interior há uma haste de cobre imersa em uma solução saturada de sulfato de cobre, já a sua extremidade é fechada por um material consideravelmente poroso. Com o voltímetro de alta impedância, é realizado um circuito fechado ligando dois polos, um no eletrodo de referência e o segundo na barra de aço a ser estudada, obtendo, com o equipamento, uma leitura eletroquímica em millivolts (mV), que representa a diferença de potencial entre os dois pontos. O ensaio se baseia no princípio da pilha eletroquímica galvânica, em que o resultado da

diferença de potencial pode ser correlacionado com a probabilidade de deterioração do aço.

De acordo com Helene e Matos (1992), a técnica do potencial de corrosão é uma das técnicas mais antigas para acompanhar e avaliar a corrosão metálica.

Desse modo, conhecidos os mecanismos de deterioração e os processos de verificação da qualidade das armaduras, realizamos uma análise qualitativa das mesmas em corpos de prova submetidos a um processo de corrosão acelerado, baseado na imersão em solução aquosa com concentração de 3,5%(NaCl) e após esse processo foram colocados em uma estufa. Ao final de todos os ciclos fazemos uma análise visual nas armaduras dos corpos de prova já rompidos e verificamos se há ou não presença de corrosão.

2 METODOLOGIA

Como o objetivo era a confecção de um potencial de corrosão seguindo a norma ASTM C876 para utilização da técnica do potencial de corrosão, a seguir são detalhadas a técnica.

A limpeza e preparação das barras de aço ocorreu antes da confecção dos corpos de prova utilizados no ensaio e conforme empregado por Cabral (2000), as barras de aço CA-50 foram submetidas a um processo de limpeza para remover qualquer produto de corrosão existente em sua superfície e com a pretensão de padronizar a condição superficial das barras utilizadas nos ensaios.

A limpeza se deu conforme as prescrições da norma ASTM G1-03 (2011), onde inicialmente as barras de aço foram imersas em solução de ácido clorídrico 1:1 com 3,5 g/L de hexametilenotetramina por quinze minutos e, após esse período, foi realizada a lavagem das barras com água em abundância e limpeza com escova de cerdas de aço. Em seguida as barras foram imersas em acetona por dois minutos e logo em seguida secas com ar quente. Por fim, as barras foram pintadas com resina epóxi, deixando apenas uma faixa de exposição de 30 mm para o ataque do agente agressivo. A Imagem 1 apresenta os materiais utilizados na limpeza das barras de aço e as imagens 2 e 3 mostram as barras antes e durante a aplicação do epóxi.

Imagem 1 - Materiais utilizados para limpeza das barras de aço



Fonte: Autores.

Imagem 2 - Barras antes da aplicação de epóxi



Fonte: Autores.

Imagem 3 - Barras de aço após aplicação de epóxi

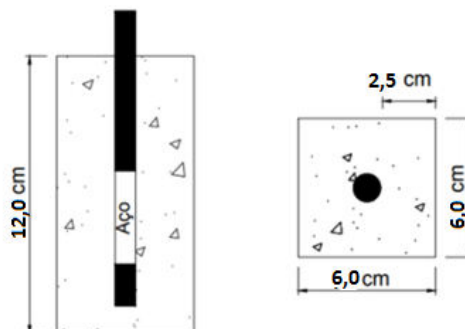


Fonte: Autores.

Para esse estudo, foram moldados 9 corpos de prova prismáticos de concreto armado para realização dos testes de corrosão. A moldagem e cura dos corpos de prova foram realizadas com base na norma NBR 5738 (ABNT, 2015a). Em cada corpo de prova foi inserida uma barra de aço de 10 mm de diâmetro, posicionada com espessura de cobertura de 25 mm com auxílio de espaçadores. É importante destacar que a barra fica com 10 mm para fora do elemento do concreto na extremidade superior, servindo, portanto, como área de contato do equipamento de potencial de corrosão. O traço (relação cimento/agregados) em massa empregado foi o de 1:3, com relação água cimento (a/c) de 0,80 e o

cimento utilizado foi o Cimento Portland Composto com Fíler (CP II - F). Após a confecção dos corpos de prova, esses foram submetidos a cura submersa por um período de 28 dias. A figura 1 apresenta as dimensões dos corpos de prova utilizados no ensaio.

Figura 1 - Dimensões dos corpos de prova



Fonte: Borba Júnior et al.,2018.

Na Imagem 4 a seguir é possível ver os 9 corpos de prova moldados para o ensaio, sendo que eles receberam a denominação de "A" até "I", em ordem alfabética para melhor identificação e controle durante as leituras do potencial de corrosão.

Imagem 4

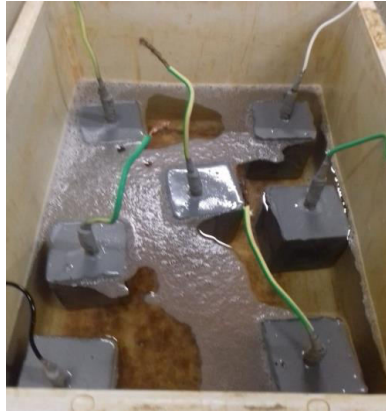


Fonte: Autores.

Foi necessário adotar um método de aceleração da corrosão das armaduras. Cabral (2000) menciona que o método de ingresso acelerado de cloreto, por meio de ciclo de umedecimento e secagem, tem sido bastante abordado no meio acadêmico e, além disso, tem apresentado resultados satisfatórios. Assim, foi utilizada essa metodologia neste artigo, onde os ciclos de molhagem e secagem foram divididos em duas etapas: a primeira com a imersão parcial dos corpos de prova em solução de água contendo um teor de 3,5% de cloreto de sódio (NaCl) por um período de 3 dias e, a segunda, com a secagem em estufa a 60° Celsius por um período de 4 dias. Os ciclos foram realizados até a constatação de um estado ativo de corrosão das armaduras. É importante destacar que a cada etapa, foi realizada a leitura com o potencial de corrosão confeccionado, sendo a primeira leitura ocorrida antes de iniciar o

processo induzido de aceleração de corrosão, justamente para verificar o estado inicial das barras de aço. A Imagem 5 apresenta a etapa de umedecimento e na Imagem 6 tem-se os corpos de prova inseridos na estufa a 60°C.

Imagem 5 - Etapa de umedecimento



Fonte: Autores.

Imagem 6 - Etapa de secagem



Fonte: Autores.

As leituras do potencial de corrosão foram realizadas com a utilização de um voltímetro de alta impedância, conectado ao eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre e à armadura dos corpos de prova. Para melhorar a condutividade elétrica entre o eletrodo de referência e o concreto, uma esponja umedecida com água e detergente foi posicionada na superfície de contato entre ambos no momento das leituras.

O cronograma de leituras foi estabelecido segundo os ciclos de corrosão acelerada. A cada etapa, seja ela de molhagem ou secagem, o corpo de prova era submetido ao ensaio. Essas leituras consistem na diferença de potencial (ddp) entre a armadura conectada e o eletrodo de referência.

As leituras eletroquímicas obtidas com o ensaio são negativas e podem ser correlacionadas com a probabilidade de haver um estado ativo de corrosão conforme a figura 2 retirada da norma ASTM C876/2015.

Figura 2 – Faixas de leitura eletroquímicas

Potencial de Corrosão medido (mV)	Probabilidade de Corrosão
Mais negativo que -350	Maior que 90%
Entre -200 e -350	Incerto
Mais positivo que -200	Menor que 10%

Fonte: ASTM C 876.

Resumidamente, a etapa de leitura está descrita a seguir:

- a) Confeção e cura dos corpos de prova
- b) Primeira medição após cura e antes do processo de corrosão acelerada
- c) Imersão dos corpos de prova em solução de NaCl por 3 dias
- d) Medição do potencial de corrosão
- e) Secagem em estufa a 60°C por 4 dias
- f) Medição do potencial de corrosão
- g) Repetição dos processos de “c” a “f” até obtenção de dados suficientes e satisfatórios para avaliar o comportamento da corrosão, neste caso, até verificar um estado ativo de corrosão.
- h) Por fim, os corpos de prova eram destruídos para verificar se a leitura realizada mostrando corrosão poderia ser comprovada pelo real estado da armadura por meio da análise visual.

Na Imagem 7 abaixo, é possível verificar a realização do ensaio do potencial.

Imagem 7 - Leituras

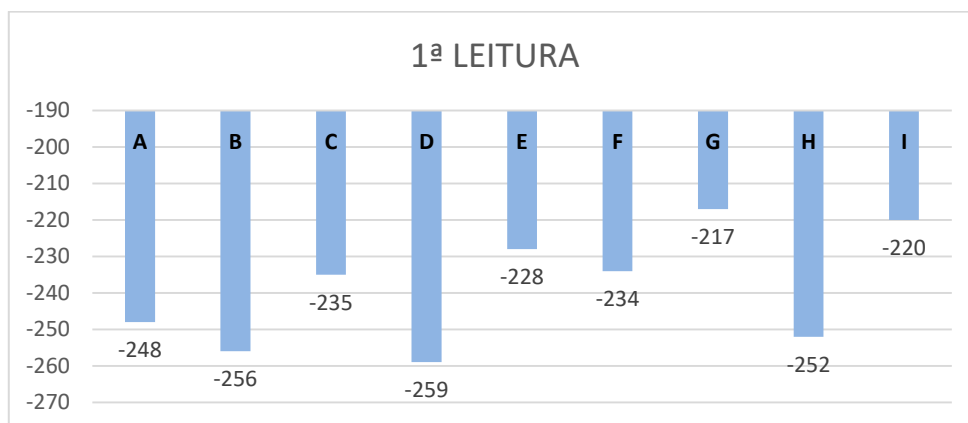


Fonte: Autores.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da metodologia proposta obtivemos os seguintes resultados para verificação da eficiência do potencial de corrosão produzido com base na ASTM C 876, onde se iniciou os ensaios realizando a primeira leitura (gráfico 1) antes de iniciar os ciclos, que baseado na referida norma determina os valores mais negativos do que -350mV tem 90% de probabilidade de ter corrosão e as leituras entre -350mV e -200mV são incertos, já as leituras mais positivas que -200mV tem 90% de probabilidade de não apresentar corrosão no aço da estrutura.

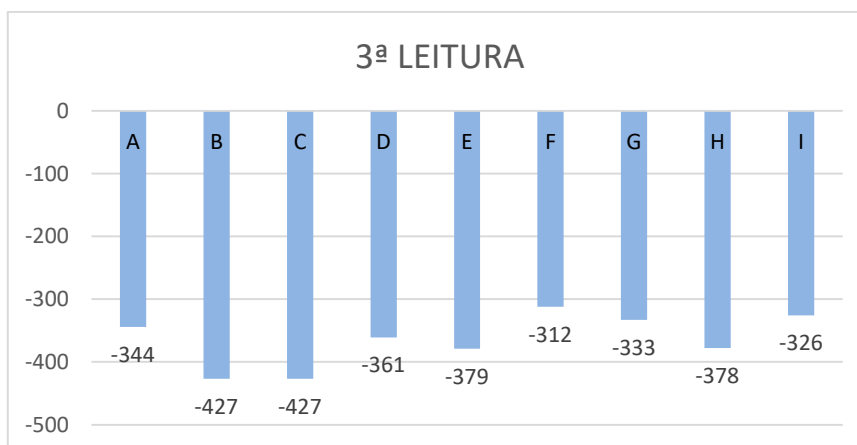
Gráfico 1 – Leituras em mV



Fonte: Autores.

O ensaio durou 28 dias e foram realizadas leituras depois do ciclo de molhagem e do de secagem, onde na terceira leitura (gráfico 2) que foi realizada após o primeiro ciclo de secagem já apresentou valores mais negativos que -350mV, mostrando que já apresentavam em alguns corpos de prova 90% de probabilidade de estarem corroídos.

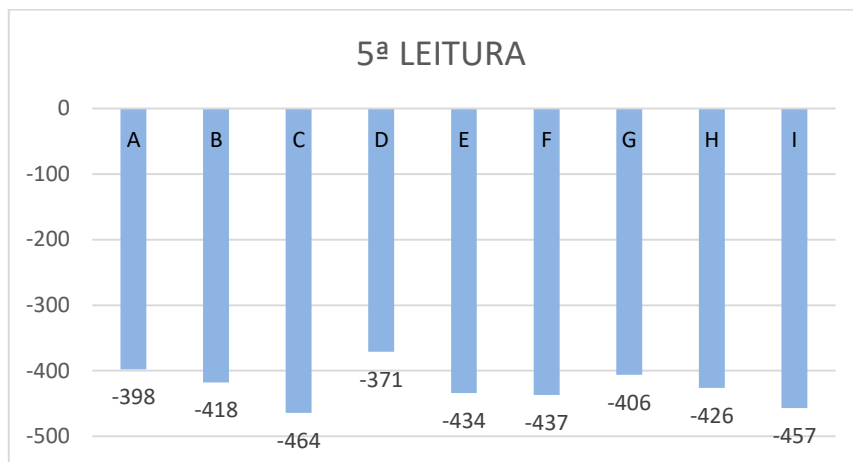
Gráfico 2 – Leitura em mV



Fonte: Autores.

Na quinta leitura (gráfico 3) todos os valores eram mais negativos do que -350mV, mostrando que todos os corpos de prova já estavam com 90% de probabilidade de estarem corroídos.

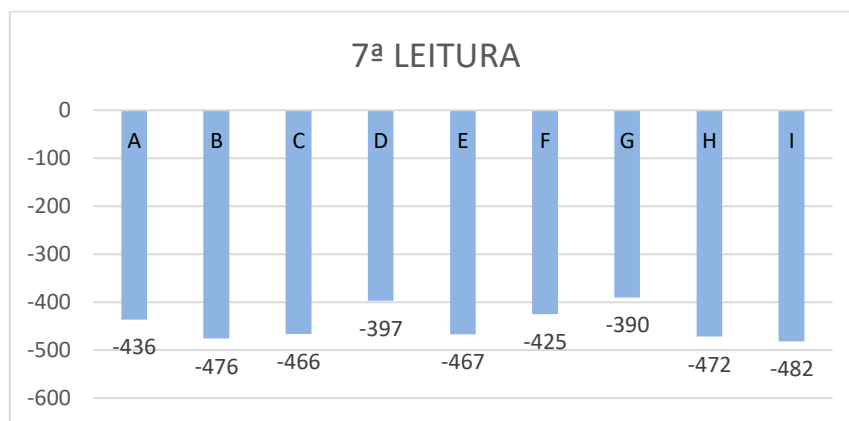
Gráfico 3 – Leituras em mV



Fonte: Autores.

A última leitura foi a sétima (gráfico 4), pois queríamos verificar se todos os cps iriam manter com valores menores que -350mV e constatou-se que os valores permaneceram menores, mostrando que teriam corrosão no aço.

Gráfico 4 – Leituras em mV



Fonte: Autores.

Para comprovar a existência de corrosão foram rompidos os cps (imagem 8) e verificou que todos apresentavam corrosão no aço (imagem 9), com isso pode-se concluir que os dados apresentados através do potencial de corrosão condiziam com a realidade, com relação ao estado do aço nos cps analisados, onde os resultados estão em concordância com o trabalho de Matos e Helene (1992).

Imagem 8 – barras após o rompimento



Fonte: Autores.

Imagem 9 – Corrosão na barra de aço.



Fonte: Autores.

4 CONCLUSÕES

Ao analisar o presente trabalho pode-se concluir que o potencial de corrosão feito a partir da ASTM C 876 tem uma boa efetividade, pois os dados coletados apontaram que havia a presença de corrosão em todas as barras de aço e após a ruptura observou que as leituras coincidiram com a realidade, podendo assim verificar a eficiência do método, sempre ressaltando que o potencial de corrosão é um método qualitativo e não quantitativo.

REFERÊNCIAS

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 876: **Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforced steel in concrete** – (1999 reapproved 2009). Annual Book of ASTM Standard, 2009.

- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G1-90: **Standard practice for preparing, cleaning and evaluating test specimens**. Philadelphia, 1990. (Reapproved 1994).
- BARBOSA, F. R.; CARVALHO, J.R.; COSTA e SILVA, A.J.; FRANCO, A.P.G.; MOTA, J.M.F. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido ao ataque de íons cloreto**. 54º Congresso Brasileiro do Concreto. Maceió, 2012.
- CABRAL, A. E. B. **Avaliação da eficiência de sistemas de reparo no combate à iniciação e à propagação da corrosão do aço induzida por cloretos**. 2000. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- CASCUDO, Osvaldo. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto**. 1ª ed. Goiânia: PINI e UFG, 1997.
- HELENE, P. R. L; MATOS, O.C. **Avaliação experimental da corrosão de armaduras em concreto utilizando a técnica de medidas dos potenciais de eletrodo**. São Paulo: EPUSP, 1992. São Paulo.
- HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo: EPUSP, 1993. São Paulo.
- MATOS, O. C.; HELENE, P. R. L. **Avaliação experimental da corrosão de armaduras em concreto utilizando a técnica de medidas dos potenciais de eletrodo**. São Paulo: Escola Politécnica da Usp Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1992.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Pini, 1994.
- BORBA JÚNIOR, J.E.F.; MEDEIROS, D.A.B.; SILVA, R.M.; EWEN, T.A.E.; TARÃO, T.C.; OLIVEIRA, V.H.D. **Avaliação da ponte de ligação no ensaio de potencial de corrosão em estruturas de concreto armado**. Encontro Nacional Betão Estrutural, BE2018 LNEC. 2018