



ANÁLISE DE BARRAS DE AÇO GALVANIZADAS A FRIO SUBMETIDAS À CORROSÃO

**FILHO, Idalmo Petrucci Ribeiro (1); CASTRO, Wilamy Valadares de (2);
LOURENÇO, Louise Portela (3); OLIVEIRA, Leandro Braga de (4)**

(1) Universidade Católica de Brasília, idalmoribeiro6@hotmail.com

(2) Universidade Católica de Brasília, wilamycastro1@gmail.com

(3) Universidade Católica de Brasília, louiseplo98@gmail.com

(4) Universidade Católica de Brasília, leandrobraga11@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a técnica de galvanização a frio com spray a base de zinco das barras de aço de uma peça de concreto armado submetido a um ambiente agressivo tendo como principal agente danoso a corrosão por meio da ação de cloretos. Para tanto, utilizou-se do método de ingresso acelerado de cloretos com ciclos de umedecimento em solução de água e sal e secagem em estufa além da confecção de corpos de prova com maior porosidade com a intenção de acelerar o processo de corrosão. A avaliação da deterioração da armadura foi feita através do ensaio de potencial de corrosão de meia célula de cobre – sulfato de cobre com ponta porosa. Os resultados aferidos nas leituras de potencial elétrico após cada ciclo de ingresso de cloretos mostraram que as barras galvanizadas sofreram menos corrosão em comparação às barras não galvanizadas para o mesmo período de tempo evidenciando a grande influência deste tipo de proteção para as estruturas de concreto armado expostas a este tipo de agressividade.

Palavras-chave: Galvanização a frio, Corrosão, Potencial de Corrosão.

ABSTRACT

This work has the intention to evaluate the technique of cold galvanization zinc spray of the steel bars in a reinforced concrete model exposed in aggressive environment with the principal damage agent was the chloride corrosion. Therefore, was used the chloride accelerated entrance method that consist in wetting the samples in salty water and stove drying cycles combined with a high porosity concrete proof bodies to increase the speed of the corrosion process. The damage evaluation progress of the steel bars was done by the corrosion potential test with a half cell of copper and copper sulfate with a porous plug. The collected results have shown that the galvanized bars were less attacked by corrosion in comparison with the not galvanized ones for the same period of time and same corrosion cycles, presenting the great influence of this kind of protection in reinforced concrete structures that may be inserted in this harmful context.

Keywords: Cold Galvanization, Corrosion, Half-Cell Potential.

1 INTRODUÇÃO

É um consenso entre a maioria das pessoas associarem a expressão de "bens duráveis" ou mesmo "patrimônio" a um automóvel ou a um imóvel, afinal mesmo considerando perdas ou desvalorizações devido ao passar do tempo, ainda se estima uma conservação ou até um aumento de parte ou do total do capital financeiro previamente investido.

Partindo destes dois exemplos, automóvel e imóvel, é possível estabelecer uma relação direta entre manutenção e durabilidade em ambos os casos. O carro por exemplo, é normal a montadora responsável exigir uma revisão das peças periodicamente para a continuidade da garantia do veículo. Entretanto, no âmbito da construção civil esta cultura ainda precisa ser muito difundida uma vez que a manutenção predial apenas é realizada após o surgimento de alguma avaria na edificação. Inserida neste contexto, a corrosão, é uma das principais causas de deterioração em edificações podendo ser desencadeadas de diferentes origens, segundo Carmona e Marega (1988) 27% das manifestações patológicas em edifícios eram de casos associados a corrosão e deste total 52% eram oriundas do processo construtivo.

Todos esses problemas naturalmente impactam em custos elevados e muitas vezes não programados. Para Sitter (1983) os gastos em manutenção ou reparos seguem uma projeção geométrica de 1,5; 25 e 125; relacionando a fase em que se detecta um problema ao nível de gasto em uma intervenção. Por exemplo para a solução de uma provável corrosão ainda em projeto aplica-se o fator 1 e um fator 125 para casos em que o edifício já está em uso a corrosão já se propagou e a estrutura não apresenta o desempenho exigido em projeto.

Internacionalmente já é possível notar uma maior percepção da indústria da construção em relação a conservação e manutenção predial. Segundo Medeiros, Andrade, Helene (2011) países europeus como França, Alemanha, Itália e o Reino Unido gastam cerca de 50% dos investimentos da construção civil em manutenção e reparos de edifícios sinalizando que este ramo da engenharia civil que está em alta atividade no mercado.

Com o intuito de fomentar a cultura da manutenção predial na construção civil nacional este trabalho tem a intenção de apresentar um tipo de solução para problemas de corrosão baseado na galvanização a frio à base spray aerossol de zinco. Este tipo de proteção é indicado para regiões em que se apresente ambientes nocivos ao concreto armado afim de aumentar a vida útil da estrutura exposta à corrosão. Este procedimento ser realizado ainda na fase de construção uma vez que tem o objetivo criar uma camada de proteção ao aço ainda preservado gerando um aumento na vida útil das edificações de concreto armado.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Corrosão

Como descrito por (HELENE, 1993) corrosão é a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, seja por ação química, física, eletroquímica ou por conjunto dessas ações.

Corrosão por ações químicas podem ser através de carbonatação, sendo o químico (CO₂) atuando principalmente nos poros do concreto, na qual

possuem hidróxido de cálcio, proveniente do processo de hidratação do cimento, responsável por deixar o concreto com pH básico. O processo de carbonatação consiste na diminuição da alcalinidade da solução dos poros do concreto, permitindo a diminuição do pH, induzindo a despassivação do aço possibilitando o processo de corrosão. (VAGHETTI, 2005)

Ações eletroquímicas se destacam em meios aquosos ocasionando oxidação direta de metais, principalmente em ambientes que apresentam cloreto, isto ocorre devido a formação de pilha eletrolítica, na qual o metal (aço) se comporta como ânodo, enquanto o cloreto como o cátodo, devido a isso a corrosão ocorre de maneira pontual, resultando em uma quantidade de óxido de ferro (Fe_2O_3) maior que a quantidade o metal de origem (HELENE, 1993).

2.2 Galvanização

É o processo de recobrir o metal (aço) com camada de zinco, para proteção contra os efeitos de oxidação (SILVA).

Metais mais redutores corroem com mais facilidade, portanto o zinco é utilizado para recobrir o aço pelo fato de ser mais anódico, esse procedimento recebe o nome de zincagem, ou seja, o zinco oxida primeiro que o aço quando exposto em ambiente com agressividade, logo o zinco protege a aço da corrosão inicial, essa proteção também é denominada de proteção catódica. O aço começará seu processo de oxidação quando o zinco estiver com sua capacidade máxima de corrosão, o que permite uma maior durabilidade da armadura (SILVA) .

O processo de zincagem pode ser por imersão a quente, na qual consiste no banho da barra de aço juntamente com o zinco fundido em temperaturas elevadas. O aço reage com o zinco formando um revestimento externo apenas de zinco protegendo o a barra de aço, em relação ao a durabilidade dessa proteção leva-se em conta a espessura da camada protetora de zinco.

Outro processo de galvanização, a galvanização a frio, consiste na realização da pintura com tinta rica em zinco (teor acima de 90%), na qual tem a função de criar uma camada protetora na peça, aumentando o prazo para ocorrer a oxidação da barra. Vale ressaltar que outros metais podem ser utilizados para realizar a galvanização, o zinco é comercialmente mais utilizado por questões financeiras e processo de manutenção para a realização da galvanização (SILVA).

3 METODOLOGIA

3.1 Confecção dos Corpos de Prova

A seguir será apresentando todo o processo de execução deste trabalho.

Iniciou-se o processo de limpeza e decapagem química das barras de aço CA-50 de 10 mm de diâmetro e 16 cm de comprimento cada de acordo com a técnica estabelecida pela norma americana ASTM G1 (1990) afim de eliminar qualquer impureza superficial do aço que possa interferir nos resultados futuros.

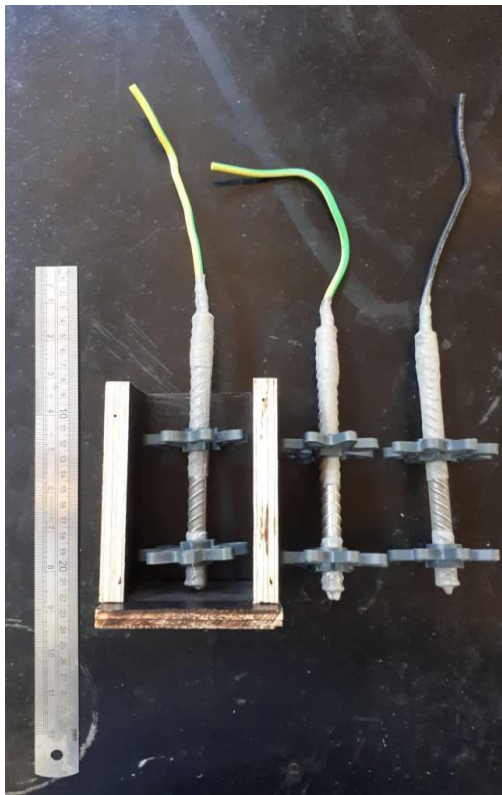
As barras foram dispostas em solução de ácido clorídrico e hexametilenotetramina na proporção de respectivamente, 1:1 e 3,5 g/l e imergidas por aproximadamente 15 minutos. Logo depois foram lavadas em água corrente com o auxílio de escovas metálicas para a retirada do óxido superficial, para então serem mergulhadas na acetona por dois minutos com o intuito de facilitar a secagem. Após a secagem das barras, foram colocados os fios de cobre, para realizar a leitura da diferença de potencial, utilizou-se resina epóxi aplicada em 3 cm a partir da base da barra, deixando 3 cm exposto e revestido os outros 10 cm de cada barra, com a intenção que esse local ficasse mais suscetível a corrosão.

Em sequência, iniciou-se o processo de galvanização a frio das barras utilizando o produto tipo spray aerossol "C.R.Z GALVANIZAÇÃO INSTANTÂNEA A FRIO" da fabricante "QUIMATIC TAPMATIC". A partir de então deu-se início a moldagem das formas de madeira para os corpos de provas prismáticos todos com dimensões de (7x7x12) cm de comprimento, largura e altura respectivamente. Ao todo foram produzidas 5 unidades (A, B, C, D, E) para barras de aço galvanizadas e 5 unidades (A, B, C, D, E) para outras não galvanizadas com o objetivo de comparar a evolução do processo corrosivo do aço utilizado.

Em todas as 10 unidades do experimento continham o mesmo traço de concreto. Optou-se por uma mistura de elevada porosidade com o objetivo de acelerar a corrosão do aço pelo ataque de cloretos diminuindo a influência do concreto na proteção da barra. O cimento e a areia foram passados nas peneiras de número 100 e 8, respectivamente, a fim de retirar-se o conteúdo mais grosseiro presente em cada elemento. Para não influenciar o traço a areia fora colocada na estufa de modo a perder umidade. Em seguida esse material fora disposto em sacos plásticos reforçados para evitar perdas e possíveis alterações devido ao contato com o meio externo. Composto por 1:3 partes de cimento CP II - F e areia e uma relação água cimento (a/c) de 0,8 os moldes foram preenchidos em duas camadas com 12 golpes cada para melhorar o adensamento do traço e por último a fixação de espaçadores plásticos para garantir um cobrimento de 30 mm.

Após a secagem as dez amostras foram colocadas em cura úmida por 24 horas e finalmente foram revestidas com epóxi nas faces superior e inferior também com o objetivo de induzir a corrosão através das faces laterais.

Figura 1 – Modelo de Corpo de Prova e forma de concretagem



Fonte: (AUTORES,2019)

3.2 Ensaio acelerado de corrosão por cloretos

A técnica utilizada para a reprodução do processo corrosivo foi a do ensaio acelerado de corrosão por cloretos baseados em ciclos de umedecimento e secagem. Este procedimento é amplamente difundido no meio científico por apresentar resultados satisfatórios tendo sido reproduzido por Cabral (2000) .O principal objetivo é simular a exposição a um ambiente nocivo à durabilidade das estruturas de concreto armado que através da oxidação das barras de aço pela ação de íons cloreto inseridos nos poros do concreto resultando em uma consequente perda de passividade do aço danificando sua função estrutural. Este fenômeno é comum em regiões litorâneas e será reproduzido neste trabalho por meio dos ciclos de umedecimento com imersão total em solução de água com NaCl, utilizando-se a concentração de 3,5% (35g/Kg de água) segundo dados do Aquarius (NASA,2015) afim de representar a salinidade do oceano atlântico que banha o litoral brasileiro e secagem em estufa a 60° Celcius servindo de catalisador das reações entre água, íons cloreto e oxigênio.

Os ciclos realizados foram compostos de sete dias cada, sendo 3 dias de umedecimento e 4 dias de secagem. A avaliação da corrosão foi acompanhada pelo ensaio de potencial de corrosão baseado pela norma americana ASTM C876 (2015) utilizando a meia célula de cobre – sulfato de cobre. Fez-se a primeira leitura de potencial de corrosão antes

do início do primeiro ciclo e após cada intervalo de acordo com a tabela a seguir.

Tabela 1 – Intervalos de Ciclos do ensaio acelerado de corrosão

CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAGEM		
LEITURA INICIAL EM 16/08/2019		
	UMEDECIMENTO	SECAGEM
1º CICLO	16/08 - 19/08	19/08 - 23/08
2º CICLO	23/08 - 26/08	26/08 - 30/08
3º CICLO	30/08 - 02/09	02/09 - 06/09

Fonte: (AUTORES,2019)

3.3 Leituras de Potencial de Corrosão

As leituras realizadas no decorrer do trabalho foram através de um dispositivo de meia célula. Este aparelho é constituído por uma mangueira rígida de material plástico e transparente e em seu interior encontra-se uma barra de cobre de 6 mm de diâmetro imersa em solução saturada de água destilada e sulfato de cobre. Uma das pontas do aparelho é composta de material poroso e inerte, na qual utilizou-se madeira, com o objetivo de garantir uma ponte de ligação sempre úmida entre a face do corpo de prova e a esta ponta. A outra extremidade é fechada com tampão plástico com a outra ponta da barra de cobre para fora da tampa para a conexão com um multímetro que também esta conectado à barra de aço do corpo de prova pelo fio conector de cobre instalado anteriormente. Assim constitui-se um sistema fechado entre o aparelho de leitura a peça de concreto armado analisada e o multímetro que registra a diferença de potencial elétrico entre a barra de cobre a barra de aço analisada de acordo com a figura 2.

Tendo em vista a resistividade do concreto, os corpos de prova foram todos umedecidos com água corrente antes das leituras e ainda utilizou-se de esponja e detergente neutro na face aferida para diminuir qualquer tipo de imprecisão dos resultados ainda assim, todos os valores registrados foram aferidos 3 vezes para evitar erros de leitura

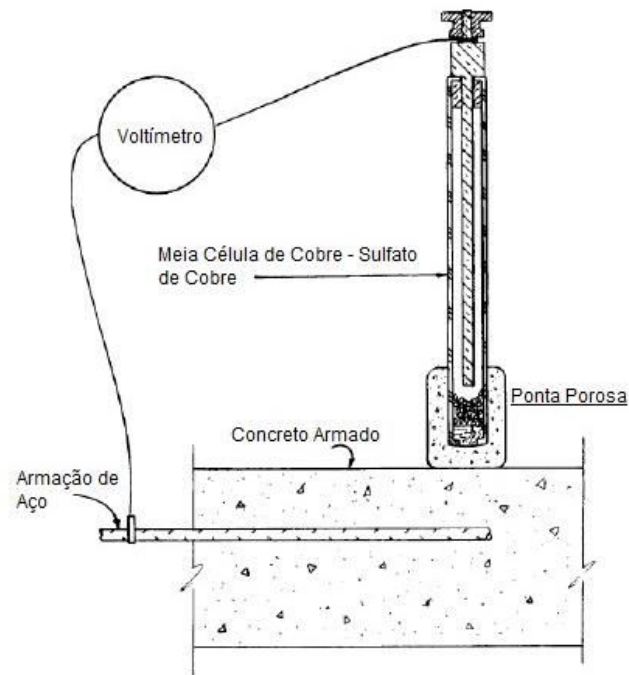
Os valores apresentados nas leituras de potencial servem para estabelecer uma análise qualitativa a respeito da probabilidade de corrosão da peça aferida como apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise de Probabilidade de Corrosão

ANÁLISE DE PROBABILIDADE DE CORROSÃO	
VALOR AFERIDO (mV)	PROBABILIDADE DE CORROSÃO
Maior que -200	Menor que 10%
Entre -200 e -350	Incerto
Menor que -350	Maior que 90%

Fonte: (ASTM C876, 2015)

Figura 2 – Dispositivo de Meia Célula de Cobre – Sulfato de Cobre



Fonte: (ASTM C876, 2015)

4 RESULTADOS

Os resultados das medições do potencial de corrosão dos corpos de prova com aço galvanizado assim como os modelos comparativos de corpos de prova com barras de aço não galvanizadas serão apresentados nos Quadros 1 e 2, juntamente como a evolução gráfica do processo de corrosão de ambos os modelos ilustrados nos Gráficos 1 e 2.

Quadro 2 – Leituras das Barras de Aço Galvanizadas

LEITURAS GALVANIZADAS					
	A	B	C	D	E
INICIAL	-188	-187	-191	-196	-190
1º CICLO	-460	-460	-462	-456	-620
2º CICLO	-1145	-500	-550	-559	-820
3º CICLO	-190	-204	-430	-280	-165
4º CICLO	-442	-659	R	-743	R
5º CICLO	-1058	-1070	R	R	R
6º CICLO	-1187	-1156	R	R	R

Fonte: (AUTORES,2019)

Quadro 1 – Leituras das Barras de Aço Não Galvanizadas

LEITURAS NÃO GALVANIZADAS CP II - F					
	A	B	C	D	E
INICIAL	-216	-218	-221	-236	-227
1º CICLO	-331	-282	-252	-268	-233
2º CICLO	-413	-379	-296	-391	-338
3º CICLO	-485	-474	-441	-430	-428

Fonte: (AUTORES,2019)

No Quadro 1, a letra "R" em alguns corpos de prova a partir do quarto ciclo justificou-se pelo o rompimento dos mesmos para a verificação visual da corrosão, uma vez que baseados na norma ASTM C876 (2015) a probabilidade de corrosão seria maior que 90% como exemplificado na Tabela 2.

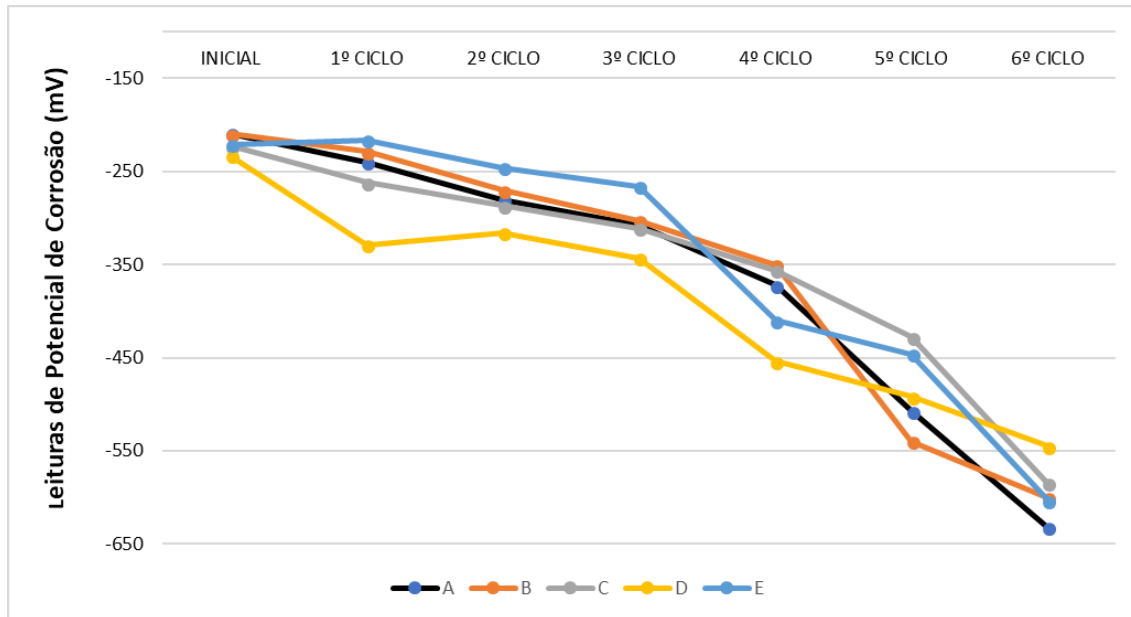
No Quadro 2, a ausência de mais ciclos de corrosão justificou-se pelo mesmo fato de que segundo a análise de corrosão apresentado na Tabela 2, todos os corpos de provas já apresentavam altas probabilidades de corrosão sendo assim cumprido o objetivo de gerar o dano na barra de aço embutida nestes corpos de prova.

Gráfico 1 – Evolução do Processo Corrosivo em Barras Galvanizadas



Fonte: (AUTORES,2019)

Gráfico 2 – Evolução do Processo Corrosivo em Barras Não Galvanizadas



Fonte: (AUTORES,2019)

4.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados apresentados graficamente é possível inferir que a proteção galvânica sofre o processo corrosivo antes das barras de aço elevando significativamente os resultados, até 72% maior, das leituras logo no final do segundo ciclo de corrosão. Entretanto para o mesmo intervalo de tempo de 3 semanas, as leituras de potencial de corrosão das barras galvanizadas eram em média até 45% menores do que os valores apresentados pelos modelos não galvanizados evidenciando a proteção destas armaduras.

Outro fator relevante, diz respeito à velocidade da propagação da corrosão nos corpos de prova galvanizados. Apesar do aço galvanizado apresentar probabilidade de corrosão menor que 10% ao fim da terceira semana, apenas uma semana depois já estava com valores de leitura de potencial de corrosão 240% maiores. Este comportamento pode ser explicado devido a um ambiente menos alcalino e consequentemente mais propício à corrosão tendo em vista a presença de material galvânico (zinco) já oxidado anteriormente e ainda a alta porosidade utilizada propositalmente no traço dos corpos de prova.

É importante ressaltar que para este experimento tentou-se minimizar o efeito de proteção que as características do traço do concreto exercem sobre a durabilidade do aço da armação, assim como descrito anteriormente, a mistura do concreto utilizada foi bastante porosa e de baixa resistência com o objetivo de ressaltar exclusivamente os efeitos da galvanização nas barras de aço.

5 CONCLUSÃO

De posse dos resultados obtidos, observa-se que a galvanização a frio realizada com spray aerossol à base de zinco é eficiente para a proteção de armaduras de concreto armado. Os dados apontam menores valores de leituras de potencial de corrosão nas barras de aço galvanizadas chegando a uma diferença de até 45% em média comparados aos exemplares sem este tipo de proteção.

No Gráfico 1 nota-se o comportamento do zinco como ânodo de sacrifício a partir do pico nas leituras de potencial de corrosão e no ciclo de ingresso de cloretos seguinte a probabilidade de corrosão caiu drasticamente evidenciando a conservação da armadura.

De forma geral, conclui-se que este experimento obteve sucesso em apresentar uma alternativa de solução prática para o aumento da durabilidade e conseqüente aumento de qualidade das estruturas de concreto armado.

6 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, 2015.
- ASTM G1-90: **Standard practice for preparing, cleaning and evaluating test specimens**. Philadelphia, 1990. (Reapproved 1994).
- CABRAL, A. E. B. **Avaliação da eficiência de sistema de reparo no combate à iniciação e à propagação da corrosão do aço induzida por cloretos**. Porto Alegre-RS, 2000. 187p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CARMONA, A.; MOREGA, A. **Retrospectiva da patologia no Brasil, estudo estatístico**. In: Colloquia, 1988, Jornada en Español y Portugues Sobre Estructuras y Materiales, Madrid, 1988, Anais. Madrid: COLLOQUIA, 1988, v.6. p 101-123.
- HELENE, P. R. D. L. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**, São Paulo, Fevereiro 1993. 248.
- MEDEIROS, Marcelo H. F. ; ANDRADE, J. J. O. ; HELENE, Paulo . **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: Geraldo Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011, v. 1, p. 773-808.
- NASA, Aquarius. **Sea Surface Salinity from Space**. 2015. Disponível em: <https://aquarius.oceansciences.org/cgi/gal_salinity.cgi>. Acesso em: 12 out. 2019.
- SILVA, F. C. **Galvanização a Quente: Processo por Batelada**, SÃO PAULO

SITTER, W. R. **Costs for Service Life Optimization the “Law of Fives”**. Comitê Euro International do Beton – CEB. Boletim Técnico. Copenhagen, Denmark, n. 152, p. 131 - 134, 1983.

VAGHETTI, M. A. O. **Estudo da Corrosão do Aço, Induzida por Carbonatação em Concretos com Adições Minerais**, PORTO ALEGRE, 2005. 286p.