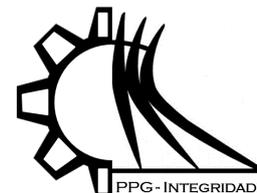




ISSN 2447-6102



Article

## DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO GRAU DE SATURAÇÃO EM CONCRETOS REVESTIDOS COM ARGAMASSA

Fonseca, F.L.; Bandeira, J.L.S.; Guimarães, A.T.C.; Gonçalves, M.R.F.

- <sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Civil, Universidade Federal do Rio Grande (FURG); [fknfonseca@hotmail.com](mailto:fknfonseca@hotmail.com); Brasil
- <sup>2</sup> Doutorado, Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL); [jorgebandeira@furg.br](mailto:jorgebandeira@furg.br); Brasil; +55-53-98135-1800.
- <sup>3</sup> Prof<sup>o</sup>. Dr. Universidade Federal do Rio Grande (FURG); Brasil
- <sup>4</sup> Prof<sup>a</sup> Dra. Universidade Federal de Pelotas (UFPEL); Brasil

Received: 14/12/2018; Accepted: 05/01/2019; Published: 06/02/2019

**Resumo:** Pouco se sabe sobre a influência dos revestimentos de argamassa na penetração de íons cloreto nas estruturas de concreto. Em estruturas de concreto armado, localizadas em regiões costeiras, onde há frequente variação do grau de saturação e grande incidência de agentes agressivos, esses revestimentos podem trazer uma proteção complementar ao concreto. Este trabalho demonstra o desenvolvimento de uma metodologia para estudos relacionados à penetração de íons cloreto em concretos revestidos com argamassas em situações de variação de grau de saturação. A metodologia é baseada em experimentos realizados em corpos de prova de concreto revestidos com argamassa, submetidos a ensaios de secagem, imersão e estabilização para verificação de alterações no grau de saturação entre os diferentes materiais que os constituem, além da avaliação sobre a viabilidade da execução do processo de extração de material para análises químicas. Os resultados mostram que a utilização de concreto com chapisco e revestimento de argamassa apresenta boa resposta ao processo de extração, e apresentam uma forma satisfatória ao estudo da difusão, contanto que se observem, especialmente, fatores como a disposição dos corpos de prova no processo de estabilização, a selagem e a retirada de ar para que não haja perda de umidade e a confecção de número adequado de corpos de prova para cálculo de absorção.

**Palavras-chave:** Argamassa. Concreto. Grau de Saturação. Íons Cloreto. Durabilidade.

## DEVELOPMENT OF METHOD FOR THE EVALUATION OF SATURATION DEGREE IN CONCRETE COVERED WITH MORTAR

**Abstract:** Little is known about the influence of mortar coatings on the penetration of chloride ions in concrete structures. In reinforced concrete structures, located in coastal regions, where there is frequent variation of saturation degree and high incidence of aggressive agents, these coatings can bring a complementary protection to the concrete. This work demonstrates the development of a methodology for studies related to the penetration of chloride ions in concretes coated with mortars in situations of variation of saturation degree. The methodology is based on experiments carried out on concrete test bodies coated with mortar, subjected to drying, immersion and stabilization tests to verify changes in the saturation degree between the different materials that constitute them, besides the evaluation of the viability of the execution of the material extraction process for chemical analysis. The results show that the use of concrete with mortar and mortar coating presents a good response to the extraction process, and present a satisfactory form to the diffusion study, provided that, especially, factors such as the disposition of the specimens in the stabilization, sealing and removal of air so that there is no loss of moisture and the making of adequate number of test specimens for calculation of absorption.

**Keywords:** Mortar. Concrete. Saturation Degree. Chloride Ions. Durability.



## 1 Introdução

Atualmente é aceito, de forma geral, ao se projetar uma estrutura que além das características mecânicas e econômicas, deve-se tomar o devido cuidado em relação às questões relativas à durabilidade dos materiais empregados nas construções, visto que a deterioração das estruturas implica em altos custos de manutenção e recuperação.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), em países que possuem setores industriais desenvolvidos, 40% da totalidade dos recursos empregados na indústria da construção são destinados a reparos e manutenções de construções existentes, de forma que esta parcela se tornou parte fundamental do orçamento total das construções. Os mesmos autores ainda citam a forte relação existente entre a durabilidade dos materiais e a ecologia, dado que, além dos grandes custos de recuperação ambiental em caso de acidentes, a produção de materiais com maior durabilidade é uma etapa importante na conservação de recursos naturais.

Segundo Biczók (1972), em regra, o concreto oferece boa proteção para as armaduras metálicas contra a corrosão, porém, de acordo com Ribeiro (2014), o concreto possui estrutura formada por vazios, formando redes que se conectam com o exterior da estrutura, o que está diretamente relacionado com a entrada de gases e substâncias agressivas dissolvidas em água, tendo os poros, portanto, forte influência nos mecanismos de destruição do concreto e corrosão das armaduras. Já para Mehta e Monteiro (1994) e Neville (2001), como qualquer material, o concreto não é intrinsecamente durável, em consequência da interação com o ambiente o qual está inserido, resultando em transformações na sua microestrutura e em suas propriedades.

Estudos de Guimarães (2000) e Malheiro (2008) mostram que o grau de saturação (GS) tem forte influência na difusão de íons cloreto no concreto em sua forma endurecida e que a argamassa de revestimento influi no transporte de íons cloreto nas estruturas de concreto, respectivamente.

Dessa forma, o desenvolvimento de uma metodologia que permita, posteriormente, o estudo da influência do GS na difusão, em concretos revestidos com argamassa, possibilitará a obtenção de resultados que podem proporcionar que soluções sejam desenvolvidas a fim de minimizar as ações patológicas relacionadas aos processos de degradação das estruturas de concreto armado, além de oportunizar o surgimento de novas pesquisas na área, visto que se trata de um campo novo de estudos.

Portanto, este trabalho objetiva verificar o comportamento do GS em corpos de prova revestidos com argamassa, comparar os valores do GS dos corpos de prova de concreto revestidos com argamassa com corpos de prova de concreto e argamassa confeccionados separadamente e avaliar a possibilidade de extração de material pulverizado dos corpos de prova para examinar a penetração de agentes de deterioração no concreto e na argamassa. Assim, este projeto pretende fornecer subsídio para a inicialização de um processo de expansão do tema proposto, através de estudos de aprofundamento do conteúdo a fim de promover a melhora na qualidade das estruturas suscetíveis a agentes agressivos, gerando redução de custos de manutenção, e dos materiais, minimizando perturbações ambientais e promovendo a conservação dos recursos da natureza, aumentando a durabilidade das construções.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Metodologia Adotada

O presente trabalho experimental possui duas etapas distintas: a primeira consta de uma análise do comportamento do GS em quatro tipos de corpos de prova (CP) diferentes, sendo o primeiro tipo constituído de concreto e revestimento de argamassa (Tipo S), o segundo tipo composto de concreto, chapisco e revestimento em argamassa (Tipo C), o terceiro apenas de concreto (Tipo CC) e o quarto formado apenas por argamassa (Tipo A); a segunda etapa se trata de um método para extração de material pulverizado, tanto de argamassa quanto de concreto, através de equipamento, projetado especialmente para este fim, para que seja determinada a profundidade de penetração dos íons cloreto.

### 2.2 Materiais Utilizados

Os tipos de materiais utilizados na confecção dos corpos de prova foram escolhidos com base na utilização corrente das obras da região. Dessa forma, para a execução do concreto, foi estabelecido a utilização de cimento portland do tipo CP IV-32, areia média, britas 0 e 1, sendo utilizado metade da composição em brita 0 e a outra metade em brita 1 e água potável da companhia de abastecimento público, para o revestimento foi utilizada

argamassa mista, constituída de cimento portland tipo CP IV-32, cal hidratada tipo CH I e areia média e para o chapisco foi utilizada argamassa de cimento portland tipo CP IV 32 e areia média.

### 2.3 Confeção das Amostras

A confecção dos corpos de prova foi realizada no Laboratório de Geotecnia e Concreto da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande – FURG. O traço utilizado para o concreto, em massa, foi de 1:2,43:3,30, com relação A/C de 0,6, o traço para a argamassa foi 1:2:8, comumente utilizado em revestimentos, e para o chapisco 1:3.

Inicialmente, foram confeccionados CPs cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, de acordo com as normas ABNT NBR NM 67:1998, ABNT NBR 8953:2015 e ABNT NBR 5738:2015. Logo após a desforma e a cura úmida, foram retirados 2,50 cm de cada extremidade dos corpos de prova, restando 15 cm que foram cortados em três partes iguais de 5 cm, conforme apresentado na Fig. 1.

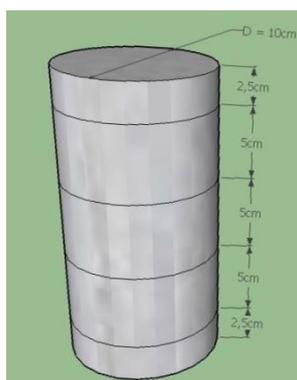


Figura 1: Dimensões do corte dos corpos de prova.

Posteriormente os CP's Tipo C e Tipo S foram preparados para receber o revestimento. Este revestimento adiciona 2,5 cm a altura final destes modelos, conforme discriminado na Tab 1.

Tabela 1: Tipos de corpos de prova desenvolvidos

| Tipo | Diâmetro [cm] | Altura [cm] | Concreto/Argamassa |
|------|---------------|-------------|--------------------|
| CC   | 10.0          | 5.0         | C                  |
| A    | 10.0          | 2.5         | A                  |
| C    | 10.0          | 7.5         | C+A                |
| S    | 10.0          | 7.5         | C+A                |

Para tal foi necessário a elaboração de fôrmas para a aplicação dos revestimentos em espessura constante. Seguindo as dimensões predeterminadas, foram feitos dois modelos de moldes em PVC de 10 cm de diâmetro, sendo um deles com altura de 2,5 cm para os CP's Tipo A e o outro com altura de 5 cm para os CP's Tipo C e Tipo S, conforme Fig. 2.



Figura 2. Moldes de PVC.

As Fig. 3a e 3b mostram os CPs que serão revestidos, com as respectivas formas de PVC, devidamente fixadas e vedadas na sua extremidade inferior.



**Figura 3.** a) Formas em CP's Tipo S. b) Formas em CP's Tipo C.

Os modelos Tipo A receberam fita e papel filme como base para a argamassa, como mostra a Fig. 4.



**Figura 4.** Preparação dos modelos Tipo A.

Após a preparação das fôrmas foi executado o revestimento e, posteriormente, a desforma, conforme a Fig. 5.



**Figura 5.** Corpos de prova Tipos C e S.

## 2.4 Desenvolvimento Experimental

### 2.4.1 Verificação do GS

A verificação o comportamento do GS nos corpos de prova Tipos C e S, em comparação com os Tipos A e CC, foi baseada nos procedimentos de cálculo de massas secas e saturadas da seção 5 da norma ASTM C 642:2006. Foi definido, também, que a análise seria realizada para o GS de 85% para simular a situação de estudo com GS diferente de 100%.

Primeiramente, foi feita a pesagem dos CP's, em temperatura ambiente, e em seguida foi feita a colocação destes em estufa, à temperatura de aproximadamente 100 °C para se obter a massa seca. As pesagens foram realizadas a cada 24 horas, observando-se o resfriamento dos CP's, à temperatura ambiente, antes de cada medição de massa. Não se verificando a constância de massa, com a diferença entre as duas últimas pesagens sendo maior do que 0,5% do menor valor medido, é realizado mais um ciclo de 24 horas, até que se alcance uma diferença menor do que 0,5% do menor valor de massa entre os dois últimos valores observados na pesagem.

Após obter os valores da massa seca, os CP's foram colocados em imersão em um processo semelhante ao da secagem a fim de se descobrir a massa saturada após imersão. Posteriormente ao registro destes valores foi feita a última parte do processo de pesagem, que consiste em ferver os CP's durante um período de 5 horas para se obter a plena saturação dos CP's. Após a fervura os CP's foram esfriados a temperatura ambiente a fim de se fazer a pesagem final.

Após esta fase do processo é feito, primeiramente, o cálculo da massa de água necessária para que o corpo de prova fique com 85% de sua saturação total e, posteriormente, a secagem até que se consiga este grau de saturação. Este cálculo é realizado através das Eqs (1) e (2) em que  $m_{\text{água}}$  é a massa de água,  $m_{\text{sat}}$  é a massa saturada do corpo de prova,  $m_{\text{seca}}$  é a massa seca do CP e  $m_{85}$  é a massa do corpo de prova com GS de 85%.

$$m_{\text{água}} = m_{\text{sat}} - m_{\text{seca}} \quad (1)$$

$$m_{85} = m_{\text{água}} \left( \frac{85}{100} \right) + m_{\text{seca}} \quad (2)$$

Executada a secagem a 50 °C, em estufa, os CP's são colocados em sacos plásticos e são cuidadosamente selados com guilhotina térmica, com o mínimo de ar possível. Logo em seguida são recolocados em estufa, por mais três dias, para se obter homogeneidade do GS ao longo dos CP's. Foi estabelecido que os CP's fossem colocados nos sacos plásticos em grupos de quatro, separados por material impermeável, sendo estes grupos formados por um CP de cada tipo. Também se determinou o uso de dois sacos por grupo de CP's para se obter uma boa vedação a fim de manter a umidade original.

Além disso, foram utilizadas diferentes disposições de CP's em cada conjunto, como está apresentado nas Fig. 6. Para o conjunto 1 os CP's Tipos C e S foram colocados lado a lado, abaixo dos Tipos CC e A, separados por anéis de PVC que foram utilizados nas etapas anteriores do trabalho. O conjunto 2 foi disposto com os CP's em pilha, separados por um separador de PVC.



a)



b)

**Figura 6.** a) Conjunto 1. b) Conjunto 2.

Após o ensacamento os conjuntos foram colocados em estufa a 50 °C, para estabilização até 72 horas. Posteriormente a retirada dos CP's do interior dos sacos, foi feita, rapidamente, a separação entre o concreto e a argamassa dos CP's dos tipos C e S, para não haver perda de umidade, e, por fim, a pesagem de cada um deles, separadamente.

Por fim, acontece a etapa final do processo, que consiste em colocar o revestimento de argamassa extraído dos CP's Tipo C e S, juntamente com a parcela de concreto destes mesmos corpos de prova, em imersão até se alcançar a constância de massa, conforme feito anteriormente. Posteriormente foi colocado em fervura por 5 horas, novamente, a fim de se obter a massa saturada de cada parte dos CP's separadamente.

Com os valores de massa saturada dos revestimentos de argamassa e dos concretos dos CP's Tipo S e C, e de absorção média dos CP's Tipo A e CC, calculada a partir da Eq. (3), é realizado o cálculo da massa seca estimada destes materiais, empregando a Eq. (4).

$$abs = \frac{m_{\text{sat}} - m_{\text{seca}}}{m_{\text{seca}}} \quad (3)$$

$$m_{\text{seca}} = \frac{m_{\text{sat}}}{1 + \frac{abs}{100}} \quad (4)$$

Conhecendo-se os valores de massa seca, massa saturada e da massa obtida após as 72 horas de estabilização, é possível calcular o GS de cada parte dos CP's Tipo C e S, de forma separada, comparando a diferença entre o GS destes materiais com o GS dos CP's Tipos A e CC. O cálculo destes GS's é realizado conforme a Eq. (5).

$$GS = \frac{m_{\text{estabilizada}} - m_{\text{seca}}}{m_{\text{sat}} - m_{\text{seca}}} \quad (5)$$

#### 2.4.2 Extração

Para a extração de material pulverizado será utilizada uma ferramenta que foi desenvolvida, especificamente, para estudos efetuados em Bandeira (2015). O processo de extração tem por objetivo avaliar a penetração de material agressivo em cada camada extraída do concreto, possibilitando elaborar perfis de penetração destes agentes de deterioração. Nesta fase o objetivo é verificar se o método utilizado para a extração do concreto é compatível com a extração de material dos CP's de argamassa, sem que haja a destruição do revestimento.

O equipamento utilizado no processo de extração é composto por uma base de madeira onde é posicionado o corpo de prova, anéis de ferro para adequar a altura do equipamento à altura do CP, uma chapa de ferro com uma abertura circular no centro para a execução da extração e um bocal para colocação de furadeira, conforme Fig. 7. Foram utilizados, também, paquímetro para a medição de altura das camadas e pincel para recolhimento da amostra.



**Figura 7.** Processo de extração.

### 3 Resultados e Discussões

#### 3.1 Grau de Saturação (GS)

A Fig. 8 apresenta gráfico com os valores de absorção dos CPs.



Figura 8. Absorção máxima

O gráfico da Fig. 8 mostrou uma argamassa com, praticamente, duas vezes o valor da absorção do concreto, demonstrando o teor mais poroso do revestimento. A absorção dos CP's revestidos apresentou valores intermediários entre os CP's de concreto sem revestimento (CC1 e CC2) e os CPs de argamassa (A4 e A7), sendo este um resultado esperado. A Fig. 9 mostra a perda acentuada de umidade ocorrida no processo de estabilização.



Figura 9. Variação GS antes e após a estabilização

Com os valores obtidos no processo de imersão e fervura para os CP's Tipo C e S, com revestimento e base separados, juntamente com a massa após a estabilização e a massa seca estimada, obtém-se o valor do GS de cada revestimento e concreto, no momento posterior a estabilização, conforme Fig. 10.



Figura 10. GS estabilizado

Observa-se, pelo gráfico apresentado na Figura 10, que os valores obtidos nos ensaios evidenciam que os CP's que constituem o Conjunto 2 (C1, S1, A7, CC2) perderam menos umidade no processo de estabilização em comparação aos CP's do Conjunto 1 (C2, S2, A4, CC1). Isto decorre, muito provavelmente, do fato de o Conjunto 1 possuir mais ar no seu interior, a disposição dos corpos de prova e da espessura do material utilizado como separador.

Na Fig. 10, acima, verifica-se, que os CP's dos Tipos C e S do Conjunto 2, mesmo com a base de concreto e o revestimento de argamassa analisados de forma solidarizada, após todos os processos de secagem, imersão, fervura e estabilização de umidade, mantiveram-se com valores de GS aproximadamente iguais, depois de separados, o que indica uma boa distribuição do GS quando os CP's estão distribuídos conforme este conjunto. Já os corpos de prova dos Tipos C e S do conjunto 1 obtiveram valores menores de GS no revestimento, em comparação com a base de concreto, devido à disposição destes, visto que por gravidade a água pode ter migrado da argamassa para o concreto. Além disso, estes tipos de corpos de prova se mostraram bastante semelhantes no que diz respeito ao GS após a estabilização. Observou-se, também, que a argamassa, no geral, experimentou uma perda maior de umidade do que o concreto. É provável que este fato seja consequência da estrutura interna da argamassa.

Analisando-se os valores do GS das partes separadas, após a estabilização, pode-se observar que, em alguns casos, estes valores foram maiores que os obtidos no corpo de prova inteiro, o que difere do previsto. Isto pode ter relação com o pequeno número de amostras utilizadas para o cálculo dos valores médios.

### 3.2 Extração

Foi estabelecido que o processo de extração se daria em camadas de 2 mm para concreto e argamassa, com exceção da zona de transição, próxima a interface entre os dois materiais, no qual seria realizado em camadas de 1mm de espessura.

Foi necessária a utilização da furadeira em rotação baixa, para evitar que a argamassa fosse pulverizada de forma rápida, ultrapassando as medidas das camadas. A Fig. 11 mostra um corpo de prova após a extração de 3 camadas de 2 mm, sendo medido com paquímetro.



**Figura 11.** Medição de profundidade de camada de extração com paquímetro

Os resultados se mostraram satisfatórios, visto que se tomados os devidos cuidados com a rotação da furadeira, é possível extrair material do revestimento de argamassa na profundidade estabelecida, sem maiores dificuldades. Deve-se tomar cuidado com o material extraído, pois pode haver material mais grosseiro em meio aos finos necessários aos ensaios químicos de análise de agentes de agressão. Para isso se recomenda a escolha de uma peneira para separar os finos dos materiais mais grossos, a fim de se obter valores mais reais para os estudos em questão.

Em um CP Tipo S, descartado, houve a separação de revestimento e base logo no processo de fervura, destacando a fragilidade deste modelo de amostra, o que pode não ser uma boa estrutura de corpo de prova para o processo de extração.

## 4 Conclusões

Com base nos resultados obtidos nas etapas de extração de material para análises químicas e verificação do grau de saturação nos corpos de prova revestidos com argamassa, pode-se apontar algumas conclusões sobre a validade do método desenvolvido:

a) O processo de selagem do revestimento plástico utilizado na estabilização da umidade, juntamente com a quantidade de ar no ambiente criado para os corpos de prova, tem forte influência no processo de perda de umidade, podendo chegar a valores bastante elevados de perda, podendo comprometer o ensaio.

b) A disposição dos corpos de prova no invólucro plástico influenciou na forma como se deu a distribuição da umidade no interior dos CP's. Este fato ficou claro com o valor reduzido do GS do revestimento dos CP's Tipos C e S do

Conjunto 1, em comparação com o GS da base de concreto dos mesmos CP's. Já os corpos de prova, de mesmo tipo, do Conjunto 2, que estiveram em estabilização em posição horizontal, apresentaram valores com menor diferença.

c) A ocorrência do revestimento de um CP do Tipo S ter se soltado de concreto no processo de fervura, associado ao fato de os CP's Tipos C e S não terem obtido grandes diferenças no valor do GS após todos os processos realizados, juntamente com a facilidade que se teve na separação do concreto e do revestimento de argamassa, pode-se afirmar que a utilização de CP's do Tipo C, além de mais próximos da realidade, traz bons resultados com menor risco de quebra do revestimento no processo de extração, em comparação com CP's sem chapisco.

d) Os CP's com aplicação de revestimento podem apresentar uma zona de estabilização da umidade na interface concreto-argamassa, o que pode representar melhor a realidade se comparado com os CP's dos Tipos CC e A, avaliados de forma separada.

e) As estruturas em serviço não possuem uniformidade no GS, em períodos mais chuvosos a sua parte externa está com maior umidade, e em períodos mais secos, a parte interna é que tende a possuir mais umidade. O ambiente criado, no laboratório com o ensacamento dos CP's não possui esse gradiente de umidade logo, deve-se tomar cuidado ao se realizar estudos posteriores, considerando-se esta diferença.

f) As conclusões, acima descritas, não devem ser adotadas de forma definitiva, pois se avaliou apenas corpos de prova com GS de, aproximadamente iguais a 85%. Materiais com GS diferentes podem apresentar divergências nos seus comportamentos frente aos mesmos ensaios utilizados neste trabalho.

## Referências

1. Bandeira, J. L. S. (2015). Desempenho de concreto saturado e não saturado executado com cimento ARI-RS 52,5 MPa, com e sem adições, frente ao ataque de cloretos. Universidade Federal do Rio Grande, Dissertação de mestrado.
2. Biczók, I. (1972). Corrosion y Proteccion del Hormigon, Tradução de Emílio J. D'Ocom Asensi. Bilbao: Ediciones Urmo.
3. C 642. 2006, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. West Conshohocken: ASTM. 3 p.
4. Guimarães, A. T. C. (2000). Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Tese de doutorado.
5. Malheiro, R. L. M. C. (2008). Influência do revestimento de argamassa no transporte de cloretos em estruturas de concreto armado inseridas no meio urbano. Universidade Federal da Paraíba, Dissertação de mestrado.
6. Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. (1994). Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais, Tradução de Paulo J. M. Monteiro. 1 ed. São Paulo: Pini.
7. NBR 5738. 2015, Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT. 13 p.
8. NBR NM 67. 1998, Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT. 8 p.
9. NBR 8953. 2015, Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT. 2 p.
10. Neville, A. M. (2001). Consideration of durability of concrete structures: past, present and future. Londres: Materials and Structures. v. 34, n. 236.
11. Ribeiro, D. V. (2014). Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier.